



**CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
CAMPUS ARAXÁ**

ANA CAROLINA AMARAL CARVALHO

**CARACTERIZAÇÃO E APROVEITAMENTO DE REJEITO DE
MINÉRIO DE FERRO PARA PRODUÇÃO DE TINTA
ECOLÓGICA**

ARAXÁ - MG

2025

ANA CAROLINA AMARAL CARVALHO

**CARACTERIZAÇÃO E APROVEITAMENTO DE REJEITO DE
MINÉRIO DE FERRO PARA PRODUÇÃO DE TINTA
ECOLÓGICA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia de Minas, do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – CEFET/MG, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Minas.

Orientador: Prof. Dr. Fábio de São José.

Coorientadora: Eng^a. Me. Kelly de Souza Pires.

ARAXÁ/MG

2025

ANA CAROLINA AMARAL CARVALHO

CARACTERIZAÇÃO E APROVEITAMENTO DE REJEITO DE MINÉRIO DE FERRO PARA A PRODUÇÃO DE TINTA ECOLÓGICA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia de Minas, do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – CEFET/MG, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Minas.

Araxá, 16 de julho de 2025

Documento assinado digitalmente
 **FABIO DE SAO JOSE**
Data: 21/07/2025 08:44:26-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Presidente e Orientador: Prof. Dr. Fábio de São José

Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – CEFET/MG – Unidade
Araxá

Documento assinado digitalmente
 **KELLY DE SOUZA PIRES**
Data: 21/07/2025 13:03:11-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Membro Titular e Coorientadora: Eng^a Me. Kelly de Souza Pires

Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – CEFET/MG – Unidade
Araxá

Documento assinado digitalmente
 **ALEXANDER MARTIN SILVEIRA GIMENEZ**
Data: 21/07/2025 10:22:31-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Membro Titular: Prof. Dr. Alexander Martin Silveira Gimenez

Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – CEFET/MG – Unidade
Araxá

Documento assinado digitalmente
 **LEANDRO HENRIQUE SANTOS**
Data: 20/07/2025 20:38:30-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Membro Titular: Prof. Dr. Leandro Henrique Santos

Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – CEFET/MG – Unidade
Araxá

AGRADECIMENTOS

Gostaria de dirigir os meus sinceros agradecimentos primeiramente à Deus, por ter me dado força e persistência para continuar mesmo em momentos difíceis. Agradeço também aos meus amigos que sempre estiveram ao meu lado.

Agradeço à CBMM, aos meus gestores e aos meus colegas de trabalho, pela oportunidade de estagiar, de iniciar minha carreira na área de mineração e por todo apoio e ensinamentos. Ao meu orientador Prof. Dr. Fábio de São José e minha coorientadora Eng^a. Me. Kelly de Souza Pires gostaria de agradecer todo apoio e disponibilidade prestada durante a realização desse trabalho.

Em especial, um agradecimento à minha mãe por ser um grande exemplo de força e por sempre me ensinar e me apoiar a correr atrás dos meus sonhos e objetivos. Um agradecimento final aos meus avós e a minha família, que ao meu lado sempre demonstraram apoio incondicional em todos os momentos.

RESUMO

A mineração é uma atividade indispensável para a sociedade atual, em contrapartida, essa atividade gera diversos tipos de resíduos sólidos que precisam ser armazenados e tem trazido diversas consequências sociais e ambientais. O beneficiamento de minério de ferro, por exemplo, é o maior gerador de resíduos sólidos na mineração. Segundo o IBRAM (2016), estima-se que até 2030 o beneficiamento de minério de ferro contribuirá com cerca de 41% do total de rejeitos gerados pelas mineradoras brasileiras. Sendo assim, é necessário buscar novas formas de reutilização desse material descartado pelas indústrias mineradoras. Um dos temas que tem ganhado repercussão, é a possibilidade da utilização de rejeito na confecção de materiais para construção civil. O tema proposto tem como objetivo principal avaliar a viabilidade do aproveitamento de rejeito de minério de ferro para produção de tinta ecológica, avaliando a composição do material, qualidade da tinta e viabilidade econômica. Os resultados mostraram que a tinta produzida com 100% de rejeito de minério de ferro apresentou melhor cobertura e permanência na parede em área externa e em madeira ao ser submetida a condições intempéricas durante 77 dias de observação e avaliação qualitativa das tintas, em comparação com as tintas produzidas com 10% e 30% de rejeito. Segundo a análise econômica realizada, os valores de produção da tinta ecológica são mais baratos comparados aos preços das tintas mais vendidas no mercado. Portanto, a produção de tinta ecológica com rejeito de minério de ferro se mostrou promissora e pertinente para novos estudos.

Palavras – chave: Minério de ferro, Aproveitamento de Rejeito, Tinta Ecológica.

ABSTRACT

Mining is an indispensable activity for today's society. On the other hand, this activity generates various types of solid waste that need to be stored and has brought about various social and environmental consequences. Iron ore processing, for example, is the largest generator of solid waste in mining. According to IBRAM (2016), it is estimated that by 2030, iron ore processing will contribute about 41% of the total waste generated by Brazilian mining companies. Therefore, it is necessary to seek new ways to reuse this material discarded by mining industries. One of the topics that has gained attention is the possibility of using tailings in the manufacture of materials for civil construction. The main objective of the proposed topic is to evaluate the feasibility of using iron ore tailings for the production of ecological paint, assessing the composition of the material, paint quality and economic feasibility. The results showed that paint produced with 100% iron ore tailings provided better coverage and permanence on exterior walls and wood when subjected to weather conditions during 77 days of observation and qualitative evaluation of the paints, compared to paints produced with 10% and 30% tailings. According to the economic analysis performed, the production costs of the eco-paint are lower compared to the prices of the best-selling paints on the market. Therefore, the production of eco-paint with iron ore tailings proved to be promising and relevant for further studies.

Key words: Iron ore, Tailings reuse, Ecological paint.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fluxograma Padrão das etapas de beneficiamento de minérios.	15
Figura 2 - Metodologia de confecção de tinta ecológica utilizada pelo Projeto Cores da Terra.	23
Figura 3 - Pesagem da massa inicial de rejeito.	25
Figura 4 - Peneiramento na peneira de 28# e desaglomeração das partículas com o rolo.	26
Figura 5 - Pilha alongada de 2,5 metros (250 cm).	27
Figura 6 - Pilha alongada final com 2 metros (200 cm).	27
Figura 7 - Retirada das alíquotas de 100 g iniciando-se do centro da pilha alongada.	28
Figura 8 - Pilha alongada de 50 cm.	28
Figura 9 - Equipamento utilizado para medição da picnometria.	29
Figura 10 - Peneiras no peneirador suspenso.	30
Figura 11 - Amostras retidas nas peneiras separadas em pratos e identificadas.	30
Figura 12 - Rejeito adicionado ao recipiente.	32
Figura 13 - Água adicionada ao recipiente com o rejeito.	32
Figura 14 - Cola branca PVA não tóxica adicionada ao recipiente em agitação com rejeito e água.	33
Figura 15 - Mistura de rejeito, cola e água em agitação até se tornar uma mistura homogênea.	33
Figura 16 - Tintas armazenadas em recipientes.	34
Figura 17 - Delimitação da área para aplicação das tintas.	34
Figura 18 - Aplicação da primeira demão de tinta.	35
Figura 19 - Aplicação da segunda demão de tinta.	35
Figura 20 - Aplicação da tinta em enfeite de madeira.	35
Figura 21 - Macroimagem do rejeito.	37
Figura 22 - Identificação de fases DRX.	37
Figura 23 - Identificação das fases.	38
Figura 24 - Micrografias (BSE).	38
Figura 25 - EDS – Arial.	39
Figura 26 - Análises Pontuais (MEV).	39
Figura 27 - Análises pontuais (MEV).	40
Figura 28 - Análises pontuais (MEV).	40
Figura 29 - Análises Mapeamento (MEV).	41
Figura 30 - Curva Granulométrica.	43
Figura 31 – Tintas aplicadas na parede.	44
Figura 32 - Tintas aplicadas em madeira.	46
Figura 33 - Comparação de preços das tintas.	48

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Principais minerais de Ferro.....	13
Tabela 2 - Possíveis aplicações de rejeito na construção civil conforme estudos realizados.....	19
Tabela 3 - Proporções das quantidades de cada insumo para produção da tinta ecológica.....	31
Tabela 4 - Valores lidos durante o teste de picnometria a gás.....	36
Tabela 5 - Distribuição Granulométrica.....	42
Tabela 6 - Valores gastos para a produção da Tinta Ecológica.....	47
Tabela 7 - Comparação de valores entre as tintas mais vendidas do mercado.....	48

SIGLAS

ANM - Agência Nacional de Mineração;
ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas;
DNPM – Departamento Nacional de Produção Mineral;
DRX – Difractometria de Raios X;
EAA – Espectrofotometria de Absorção Atômica;
EDS – Espectrofotometria de Energia Dispersiva;
EOE – Espectrografia Óptica de Emissão;
FRX – Fluorescência de Raios X;
NRM – Norma Regulamentadora na Mineração.

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	11
2.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	13
2.1.	MINÉRIO DE FERRO E SEU BENEFICIAMENTO	13
2.2.	BARRAGENS DE REJEITO	16
2.3.	CARACTERIZAÇÃO DO REJEITO DE MINÉRIO DE FERRO	17
2.4.	REAPROVEITAMENTO DE REJEITOS	18
2.5.	TINTAS.....	21
3.	MATERIAIS E MÉTODOS	24
3.1.	MATERIAIS	24
3.2.	CARACTERIZAÇÃO DE AMOSTRAS	24
3.3.	PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS	25
3.4.	ANÁLISE DE DENSIDADE REAL	29
3.5.	DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA.....	30
3.6.	FABRICAÇÃO DA TINTA ECOLÓGICA E APLICAÇÃO.....	31
3.7.	AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA TINTA	36
4.	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	36
4.1.	ANÁLISE DE DENSIDADE REAL	36
4.2.	CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA DO REJEITO.....	37
4.3.	ANÁLISE DA ÁREA SUPERFICIAL ESPECÍFICA.....	41
4.4.	ANÁLISE GRANULOMÉTRICA	42
4.5.	AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA TINTA.....	43
4.5.1.	TINTA APLICADA NA PAREDE	43
4.5.2.	TINTA APLICADA NA MADEIRA	46
4.6.	ANÁLISE ECONÔMICA PARA PRODUÇÃO DAS TINTAS	47
5.	CONCLUSÕES.....	49
	REFERÊNCIAS.....	51

1. INTRODUÇÃO

A mineração é uma atividade indispensável para a vida humana e está diretamente ligada ao desenvolvimento da sociedade e da tecnologia. Em contrapartida, as atividades minerárias geram diversos impactos ambientais e sociais, além de gerar diversos resíduos que são descartados em barragens e tem causado diversas consequências e impactos negativos (Milanez, 2017).

Além dos recursos minerais serem não renováveis, os principais impactos oriundos da mineração são: alta geração de rejeitos, poluição de água, poluição sonora, subsidência de terreno, desmatamento, poluição do solo, poluição visual, etc (Azevedo; Vital, 2018).

No Brasil, a mineração contribui fortemente para a economia. O minério de ferro, por exemplo, é uma das principais commodities e domina os mercados internacionais de ferro (Fischer, 2013). Contudo, uma das principais consequências relacionadas à extração de ferro é o grande volume de rejeito gerado no beneficiamento do minério para o aproveitamento máximo do material de interesse (Andrade, 2014).

Dessa forma, o tratamento de minério de ferro requer a adição de água e produtos químicos, produzindo uma grande quantidade de rejeito na forma de polpa, que por sua vez, é descartado em barragens (Andrade, 2014). Devido à alta demanda por ferro, rochas com teores de ferro mais baixos passaram a ter a lavra viabilizada, o que resulta em um aumento considerável na quantidade de rejeitos gerados pelo beneficiamento de minério de ferro (VALE, 2012).

Mesmo após o beneficiamento para aproveitamento máximo dos minerais de interesse, o rejeito de minério de ferro pode apresentar grandes quantidades de ferro em sua composição, podendo retornar ao processo produtivo ou serem aproveitados na confecção de materiais utilizados na construção civil (Andrade, 2014).

Neste contexto surge a necessidade do aproveitamento de rejeitos, que busca transformar os resíduos antes descartados em materiais aproveitáveis, com valor agregado e benefícios ambientais e econômicos para as empresas (Machado, 2018).

Neste trabalho foi realizado, inicialmente, um levantamento bibliográfico com relação à estudos sobre a utilização de rejeitos para a construção civil, a fim de buscar embasamento teórico para elaboração do projeto e confecção da tinta ecológica.

Sendo assim, o objetivo deste estudo foi avaliar a viabilidade do aproveitamento de rejeito de uma indústria de minério de ferro como insumo na produção de tinta ecológica, por meio de revisão bibliográfica, caracterização do rejeito, teste de diferentes porcentagens de rejeito na composição da tinta, avaliação da qualidade do produto e análise econômica.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. MINÉRIO DE FERRO E SEU BENEFICIAMENTO

O ferro é o principal insumo para obtenção do aço, que é essencial para o avanço da nação e está no ranking como o quarto elemento químico mais abundante na Terra. Pode-se estimar uma proporção de ferro na crosta terrestre de cerca de 4,5% em massa. Há inúmeros minerais que possuem o ferro em sua composição como os óxidos, sulfetos, carbonatos e silicatos (Santiago, 2017). Na Tabela 1, são vistos os principais minerais de ferro com as suas respectivas fórmulas químicas e teores (%).

Tabela 1 - Principais minerais de Ferro.

Mineral	Fórmula Química	Conteúdo Teórico de Ferro
Magnetita	Fe_3O_4	72,4
Hematita	Fe_2O_3	69,9
Goethita	$FeO(OH)$	62,9
Limonita	$FeOOH$	59,8
Ilmenita	$FeTiO_3$	36,8
Siderita	$FeCO_3$	48,2
Pirita	FeS_2	46,5
Pirrotita	$Fe_{(1-x)}S$	61,0

Fonte : adaptado DNPM (2004).

No Brasil o minério de ferro é uma das principais commodities, ocupa o primeiro lugar na lista de exportações brasileiras e contribui fortemente para a economia. A empresa Vale SA, por exemplo, domina o mercado internacional de ferro (Fischer, 2013). Nesse cenário, observa-se a grande importância da mineração de ferro para o desenvolvimento da sociedade brasileira. Contudo, um dos principais aspectos ambientais referentes a lavra do ferro é o alto volume de resíduos que é gerado durante o seu beneficiamento (Andrade, 2014). Estima-se que até 2030, o beneficiamento de minério de ferro contribuirá com cerca de 41% do total de rejeitos gerados pelas mineradoras Brasileiras (IBRAM, 2016).

O tratamento de minérios (beneficiamento) pode ser definido como operações que visam modificar a granulometria, a concentração ou a forma das espécies minerais, sem modificar a identidade química dos minerais (Chaves, 2010). Dessa forma, para beneficiar o minério de ferro, inicialmente, é necessário que os minerais sejam fisicamente liberados para que a etapa de concentração possa ser feita. Sendo assim, para liberar o minério, é preciso submetê-lo a uma operação de cominuição, para reduzir o tamanho das partículas através da britagem e/ou moagem do material. A fim de evitar que ocorra uma cominuição excessiva, o material também passa por operações de separação por tamanho (classificação), como ciclonagem e peneiramento (Chaves, 2010). A etapa de concentração, que visa obter, de modo geral, um concentrado e o rejeito, tem como principal finalidade a remoção da maior parte de ganga presente no minério. Após essa etapa, a fim de adequar o produto para a indústria, é necessário remover a água do produto concentrado, através do desaguamento (filtragem e/ou espessamento) e secagem (Santiago, 2017).

A etapa de concentração de minério de ferro pode ser realizada de diferentes formas: concentração magnética, concentração gravítica ou flotação. São desenvolvidas várias configurações e combinações de métodos para atender as exigências de mercado, que atualmente viabilizam a lavra de teores baixos de minério de ferro. As rotas de concentração são definidas conforme as características químicas, físicas e mineralógicas do minério (Correa, 2018).

Minérios com alto teor de ferro podem ter como rota de tratamento de minérios apenas etapas de cominuição, classificação e deslamagem. Já os minérios com baixo teor de ferro, de modo geral, necessitam de etapas de concentração onde ocorrem a adição de produtos químicos, como na etapa de flotação, para separação da parte de interesse. Para os minérios com baixo teor de ferro e granulometria grossa, são realizadas as etapas de cominuição e concentração por meio da flotação ou concentração gravítica. Para os minérios de ferro com baixo teor e granulometria fina, utilizam-se separadores magnéticos de alta intensidade e flotação catiônica para concentrar o material (Ferreira, 2011).

As etapas da operação padrão de tratamento de minérios estão demonstradas no fluxograma da Figura 1.

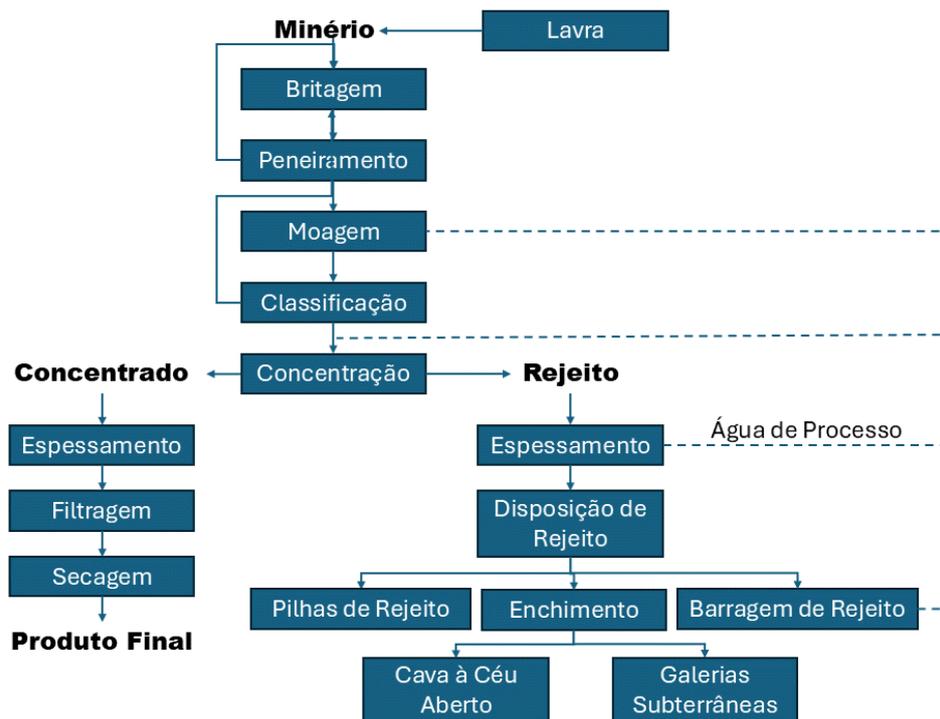


Figura 1 - Fluxograma Padrão das etapas de beneficiamento de minérios.

Fonte: adaptado de CHAVES (2010).

Após a etapa de concentração e obtenção do produto final, conforme etapas do fluxograma padrão de beneficiamento de minérios, o rejeito também é espessado, para retirada da água, e é estocado em barragens de rejeito ou utilizado como enchimento em cavas de mina a céu aberto ou subterrânea.

O processo de beneficiamento utilizado é diverso em função das características mineralógicas, geotécnicas e físico-químicas do minério de ferro. O rejeito de minério de ferro tem duas classificações: finos (lama) e granular (acima de 0,074mm). O rejeito fino contém frações granulométricas que correspondem a silte e argila, apresentando altos valores de índice de plasticidade. Já o rejeito granular possui partículas de areia média e fina, com características químicas e mineralógicas herdadas da rocha-mãe influenciando diretamente o comportamento geotécnico (Moraes, 2022).

Cerca de 1,4 bilhão de tonelada por ano de rejeito de minério de ferro é gerada, essencialmente no Brasil, China e Austrália. Apenas no estado de Minas Gerais foram produzidos cerca de 562 milhões de toneladas de rejeito de minério de ferro em 2017. Cerca de 95% dos rejeitos de mineração são destinados a barragens de rejeito no Brasil, sendo cerca de 340 delas situadas em Minas Gerais (Carmignano et al., 2021).

2.2. BARRAGENS DE REJEITO

As barragens são definidas como estruturas de contenção de rejeitos construídas a partir de um dique de partida que é constituído por terra compactada, com alteamentos sucessivos feitos a partir da utilização do próprio rejeito (Ribeiro, 2000). A ganga pode ser definida como a parte do minério que não possui valor econômico agregado (Soares, 2010). A produção mineral gera um grande volume de rejeitos após o beneficiamento de minérios, fazendo com que algumas barragens brasileiras possuam capacidades maiores que 3 milhões de m³ (ANM, 2019).

O problema de aumento das capacidades de barragens no Brasil é agravado no processamento de alguns minérios, como por exemplo ouro, cobre, carvão, fosfato e ferro, devido à alta demanda por esses elementos pela sociedade (Severo, 2019). Sendo assim, os rejeitos são depositados em barragens, que devem seguir a legislação e as exigências de segurança e proteção ao meio ambiente (Soares, 2010).

A disposição controlada e adequada de rejeitos pode gerar aumentos significativos nos custos de produção. Entretanto, é indispensável que seja realizado a caracterização e controle de compactação de materiais utilizados em barragens, evitando altos volumes de água, pois a estabilidade de uma barragem está ligada as características geotécnicas de cada rejeito depositado, dependendo assim, de variáveis como: granulometria, densidade in situ, índice de vazios, adensamento, compressibilidade, permeabilidade e resistência ao cisalhamento (Soares, 2010).

As barragens demandam altos custos de manutenção e monitoramento constante para acompanhamento de suas modificações e podem gerar, além de impactos ambientais e visuais, situações de risco, como destaca Machado (2018). Além disso, Soares (2010) destaca que é necessário considerar todos os custos de construção, manutenção e monitoramento avaliando as características dos materiais, dinâmica construtiva, operação de mina e beneficiamento dos minérios para avaliar a viabilidade econômica de um empreendimento minerário.

No ano de 2024, existiam cerca de 937 barragens cadastradas no Brasil (ANM, 2024). Além disso, conforme dados de 2022, são extraídos 60 tipos de minérios, sendo o minério de ferro, o que possui maior volume de empreendimentos, cerca de 197 barragens (FIOCRUZ, 2022).

Dessa forma, na atualidade, o cuidado com o meio ambiente e o tratamento e reaproveitamento de rejeitos e efluentes gerados são essenciais para as empresas que buscam ter seus produtos aceitos pelo mercado nacional e internacional (Rubio, Oliveira e Silva, 2010). Nesse contexto, o aproveitamento de rejeitos surge com a finalidade de transformar esses materiais sem valor econômico antes descartados, em bens aproveitáveis, visando a redução do ciclo produtivo e redução de custos, conforme apontado por Menezes et al (2009).

2.3. CARACTERIZAÇÃO DO REJEITO DE MINÉRIO DE FERRO

Devido à alta demanda de ferro pela sociedade a lavra de rochas com teores baixos de ferro se tornou viável economicamente, o que resulta em um aumento na quantidade de rejeitos descartados em barragens (Andrade, 2014). Dessa forma, empresas de grande porte, como a Vale SA e Samarco estão investido na exploração de rochas com teores de ferro menores que 40% (VALE, 2012).

Sendo assim, é comum observar que algumas barragens apresentam concentrações de ferro superiores a minérios com baixo teor, que são lavrados por mineradoras brasileiras. Há uma teoria de que a realidade de muitas barragens da mineração de ferro já concluídas no Brasil seja esta, principalmente no Quadrilátero Ferrífero, local onde grandes quantidades de minério de ferro já foram lavradas por processos com baixa eficácia (Wolff, 2009).

Desse modo, a caracterização do rejeito de minério de ferro é essencial para a viabilização do reaproveitamento de rejeitos, como subproduto na usina de beneficiamento ou em outros segmentos, de acordo com os teores de ferro apresentados nas análises microestruturais do material (Borges, 2008). Contudo, além da caracterização, a granulometria associada às composições mineralógicas e químicas também é de grande importância para o reaproveitamento de rejeitos das indústrias de minério de ferro (Andrade, 2014).

Neumann et al. (2010) destacam que as técnicas utilizadas na caracterização mineral dependem do minério analisado e dos objetivos da análise. Portanto é necessário fracionar, homogeneizar e quarterar a amostra, a fim de facilitar a identificação mineral e a representatividade. Além disso, as etapas que sucedem o

fracionamento são: identificação de fases, quantificação mineral e determinação do grau de liberação.

Para obtenção da granulometria, utiliza-se o peneiramento a fim de determinar o tamanho das partículas ou pode-se utilizar outros métodos como microscopias ópticas e eletrônica e classificação em meio fluido (Costa, 2014). Segundo Porphírio, Barbosa e Bertolino (2010), para determinar a composição química mineral, pode-se aplicar os seguintes métodos: Fluorescência de Raios X (FRX), Espectrografia Óptica de Emissão (EOE), gravimetria, volumetria, colorimetria, Espectrofotometria de Absorção Atômica, entre outros. Para a análise de composição mineralógica, são utilizados os seguintes métodos: Difractometria de Raios X (DRX), Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), etc (Porphírio et al, 2010).

Ademais, as propriedades físicas da superfície do material são bastante relevantes para caracterização e aproveitamento de rejeito de minério de ferro, por isso, utiliza-se o Ensaio da Área Superficial Específica (BET) com o objetivo de estabelecer uma correlação direta entre as propriedades físicas do material, mensurando o tamanho das partículas, área superficial, uniformidade e a quantidade de poros presentes na estrutura da amostra. Esse ensaio é baseado na adsorção de gases, para mensurar a área superficial da amostra em análise. A adsorção física é a atração física entre as moléculas individuais dos gases e os átomos presentes na composição da amostra. Sendo assim, ao expor a amostra à presença de um gás, através da determinação da quantidade de gás absorvida, é possível obter a área superficial da amostra (Afinko, 2021).

2.4. REAPROVEITAMENTO DE REJEITOS

Diante do cenário de altas concentrações de ferro presentes em rejeitos de barragens desativadas, Andrade (2014) destaca que a caracterização a fim de reaproveitar os resíduos sólidos advindos das barragens de exploração de minério de ferro, tem se tornado o foco de diferentes pesquisas nas últimas décadas. Segundo Borges (2008) o reaproveitamento de rejeitos tem grande potencial de viabilidade tanto ambiental quanto econômica. O conhecimento e caracterização dos rejeitos favorece a viabilização do aproveitamento como subproduto na própria usina ou em

outros segmentos industriais. Dessa forma, o reuso minimiza impactos ambientais e cria receita, onde havia gastos com disposição de rejeitos e manutenção de pilhas e barragens (Gomes, 2017). Os estudos que envolvem a reciclagem de rejeitos e resíduos estão ganhando cada vez mais repercussão devido a preocupações sociais e ambientais, pois o rompimento de barragens tem consequências socioambientais graves (Bates, 2002). Sendo assim, um dos principais setores que se destaca na possibilidade da aplicação de rejeitos é a construção civil, por se tratar de uma área que consome grande parte de recursos naturais (Machado, 2018).

Tabela 2 - Possíveis aplicações de rejeito na construção civil conforme estudos realizados.

Autor / Ano	Rejeito	Aplicação
Fernandes et al, 2004	Minério de Ferro	Pavimentação
Amaral Filho, 2009	Carvão	Energia e comércio de pirita
Chaves, 2009	Minério de Ferro	Cerâmicas
Tolentino, 2010	Minério de Ferro	Vidro, esmaltes cerâmicos e cerâmicas
Nociti, 2011	Minério de Ferro	Cerâmica vermelha
Barros, 2013	Esmeralda	Refratário
Santos et al, 2013	Ardósia	Concreto
Machado et al, 2014	Calcário	Correção de acidez de solo
Silva, 2014	Minério de Ferro	Pavers e cerâmica
Silveira, 2015	Minério de Ferro	Pré-moldados de concreto
Cota, 2017	Minério de Ferro e Manganês	Cerâmica vermelha
Silva, 2017	Minério de Ferro	Concreto asfáltico
Assis, Queiroga e Mendes, 2018	Minério de Ferro	Tijolos maciços
Azevedo e Vital, 2018	Caulim	Tinta Ecológica
Machado, 2018	Minério de Ferro	Blocos monolíticos
Severo, 2019	Minério de Ferro	Tijolos cerâmicos
Moraes, 2022	Minério de Ferro	Misturas Asfálticas
Santos et al, 2024	Minério de Ferro	Pigmentos em Resinas

Fonte: adaptado de SEVERO, 2019.

Conforme correlacionado nos estudos destacados na Tabela 2 a utilização de rejeitos para produção de materiais para a construção civil é uma grande possibilidade de redução do volume estocado em barragens e na minimização de impactos ambientais (Fernandes, et al, 2004). O rejeito de minério de ferro, se torna uma ótima opção para substituição de parte de insumos utilizados na produção de argamassas, blocos de concreto, cerâmicas, tintas, filtros de barragens, pavimentação, agricultura entre outros produtos (Severo, 2019).

A tese de Moraes (2022), teve como principal objetivo analisar os comportamentos mecânicos e térmicos de misturas asfálticas produzidas com a substituição parcial do pó de pedra por rejeito de minério de ferro, visando o aproveitamento sustentável desse resíduo e a mitigação do fenômeno de Ilha de Calor Urbano (ICU). A metodologia envolveu a substituição de 7,5%, 10% e 12,5% do pó de pedra por rejeito, com variações de temperatura de usinagem (157°C, 165°C e 173°C) e a realização de diversos ensaios laboratoriais (resistência à tração, módulo de resiliência, fadiga, cântabro, Lottman e Flow Number), além de medições térmicas de refletância e temperatura superficial dos pavimentos. Os principais resultados demonstraram que a incorporação de até 12,5% de rejeito proporcionou aumento de refletância em 40,25% e redução da temperatura superficial em 2,38°C, sem comprometer o desempenho mecânico, apontando viabilidade técnica e ambiental para uso do rejeito em misturas asfálticas coloridas.

O artigo de Santos et al (2024), teve como principal objetivo a avaliação da viabilidade do uso de rejeito de minério de ferro, especificamente os resíduos do desastre da barragem de Mariana-MG, como pigmento em resinas de polipropileno. O estudo focou em como o rejeito afeta a coloração e as propriedades mecânicas do polímero, variando a proporção de 1% a 10% de rejeito na composição. Os resultados indicaram que os rejeitos são eficazes na pigmentação, conferindo uma cor avermelhada característica e não comprometem significativamente a resistência à tração do polipropileno. Além disso, o estudo revelou um aumento na resistência à flexão, sugerindo um potencial promissor para aplicações como compósitos de madeira-plástico.

O artigo de Azevedo e Vital (2018) teve como principal objetivo apresentar fundamentos práticos para embasar o uso de rejeito de Caulim na confecção de tinta ecológica (geotinta), propondo-o como uma alternativa econômica e sustentável. A

metodologia envolveu a coleta do rejeito de caulim, tratamento do material através da moagem e homogeneização para seleção de partículas finas e brancas, a preparação da tinta utilizando o rejeito, água e cola branca e a aplicação da tinta em parede de alvenaria. Os resultados confirmaram que o rejeito de caulim é uma excelente matéria-prima para a fabricação de tinta ecológica, demonstrando potencial para uso em paredes internas e características similares às tintas industrializadas, como boa capacidade de cobertura, secagem rápida, resistência e boa aderência, sem formação de bolhas, descascamentos ou rachaduras durante o período de monitoramento.

Dessa forma, os estudos recentes de Moraes (2022) e Santos et al (2024) mostram ótimos resultados para aplicação de rejeito de minério de ferro como pigmentos em misturas asfálticas coloridas e em resinas de polipropileno. Além disso, o estudo de Azevedo e Vital (2018) mostra ótima aplicabilidade de rejeitos, como o de Caulim, para produção de Tinta Ecológica.

2.5. TINTAS

No mercado atual, as tintas são compostas por resina, pigmentos e solventes. Os solventes são utilizados para manter os pigmentos em uma mistura homogênea e para solubilizar a resina. A parte não volátil da tinta é a resina, que tem como principal objetivo aglomerar os pigmentos. No caso de tintas aquosas, a água é utilizada como solvente e a resina está na dispersão aquosa de partículas de dimensões micrométricas (Cardoso; Alvarenga; Carvalho, 2016).

Na fabricação de tintas convencionais, são destacados como matérias primas os produtos derivados de petróleo, recursos não renováveis e água. Nesse processo, também há a emissão de efluentes líquidos e gasosos que podem poluir o meio ambiente e danificam a camada de ozônio, como os compostos Orgânicos Voláteis (COVs), que são uma classe derivada do petróleo. Para redução dessas emissões estão sendo realizados diversos estudos e mudanças nas formulações de tintas (Faria; Schmid, 2015).

Devido à crise energética e a dependência do petróleo, a humanidade necessita buscar fontes alternativas, mais econômicas e menos danosas ao meio ambiente, para reduzir os impactos ambientais. Além das alternativas para minimizar

os impactos ambientais, é necessário utilizar técnicas menos poluentes, como a fabricação de tintas utilizando solo como matéria-prima (Pauliv; Madi, 2020).

Desde a pré-história, a *terra* é utilizada como pigmento e tem durabilidade tal qual as tintas convencionais. É possível utilizar diversos tipos de solos visando obter uma grande variedade de tons de cores. A tinta ecológica é um material sustentável que pode ser desenvolvido a partir de pigmentos naturais e puros, a base aquosa não tóxica e é um material livre de metais pesados, como os encontrados em pigmentos sintéticos (Silva; Silva; Lima, 2018).

As tintas com pigmentos naturais da *terra*, preservam a identidade local, são sustentáveis e não geram produtos tóxicos à saúde e ao meio ambiente, pois elas são compostas de pigmentos minerais puros e emulsões de base aquosa não tóxica. As tintas que utilizam a *terra* como pigmento, são produzidas por meio de um processo físico, sem auxílio de meio químico e com baixo consumo de energia. Além disso, no processo de transformação do produto, não ocorrem emissões tóxicas e o material não polui o ambiente, pois completa seu ciclo de vida retornando à terra em curto prazo (Pauliv; Madi, 2020).

O Projeto Cores da *Terra* realizou a confecção de tintas com *terra*, utilizando-se de um método que consiste em misturar as seguintes proporções de solo, água e cola branca PVA não tóxica: 10 kg de solo, 10 litros de água e 3 litros de cola branca PVA não tóxica (Ferrão, 2007), conforme Figura 2.

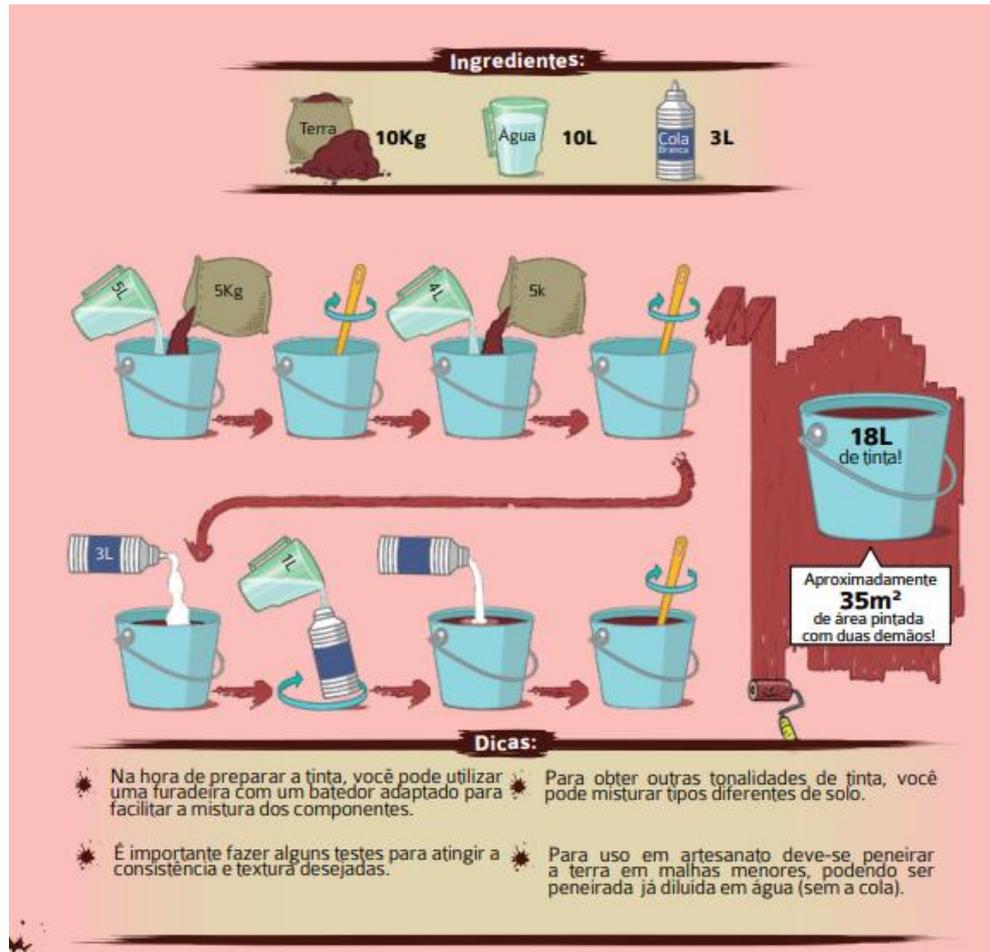


Figura 2 - Metodologia de confecção de tinta ecológica utilizada pelo Projeto Cores da Terra.

Fonte: Ferrão, 2007.

Desse modo, o uso de insumos alternativos nas pinturas está ganhando destaque na literatura técnica. Nesse contexto, assim como a utilização de solo como pigmento das tintas, o rejeito também se torna uma possibilidade de utilização (Azevedo; Vital, 2018).

O rejeito de minério de ferro apresenta uma coloração característica que pode ser adquirida pelos materiais produzidos, contribuindo na sua aplicação em certos segmentos, pois o fator estético é relevante. O rejeito de minério de ferro possui um poder alto de pigmentação quando incorporado em materiais, além de não comprometer sua performance em relação as propriedades mecânicas, o que pode contribuir com o ganho de resistência mecânica e durabilidade. Além disso, o rejeito de minério de ferro apresenta uma granulometria de partículas fina altamente eficaz para aplicação em pigmentos (Santos; Alves; Teixeira; Silva; Patricio, 2024).

Segundo o estudo de Santos et al (2006) referente a síntese de pigmentos pretos à base de Fe, Co e Cr pela rota dos precursores poliméricos, a área superficial específica de pigmentos à base de ferro pode variar de 124,9 m²/g a 2,4 m²/g de acordo com a temperatura a qual os materiais são submetidos. Além disso, o óxido de ferro possui baixa toxicidade, é biocompatível e possui uma elevada área superficial específica devido ao seu tamanho reduzido (Matos, 2016), características que favorecem a utilização de rejeitos de minério de ferro como pigmentos.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. MATERIAIS

O material utilizado neste trabalho foi o rejeito de concentração de minério de ferro doado e coletado no ano de 2019 em uma empresa localizada na cidade Catas Altas – MG. O rejeito em questão, é o overflow da etapa de desaguamento. Importante ressaltar que a empresa é de pequeno porte e não possui barragens de rejeito, por ter uma pequena área para lavra e tratamento de minérios. Além disso, foram utilizados solo, água e cola branca PVA não tóxica, com proporções baseadas no trabalho do Projeto Cores da Terra de Ferrão (2007).

3.2. CARACTERIZAÇÃO DE AMOSTRAS

Para caracterizar o material, foram propostos os seguintes testes: análise mineralógica através da Difratomia de Raios X (DRX) e Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) e Análise da Área Superficial Específica (BET).

As análises mineralógicas através da Difratomia de Raios X (DRX) e Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) foi realizada por uma empresa parceira. A caracterização teve como objetivo identificar as fases e morfologia das partículas do rejeito. Para registro de micrografias e semi qualificação química foi utilizada técnica de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), sendo um equipamento de modelo Sigma 300. Importante ressaltar que essa metodologia não quantifica Carbono e Oxigênio. Foram realizadas também as micrografias obtidas pelo Elétrons

Retroespalhados (BSE). O BSE gera imagens em função do número atômico (composição química), onde os tons de cinza correspondem as diferentes fases. Além disso, foi utilizada a técnica de Difratometria de Raios X por meio do equipamento D8 ADVANCE da marca Bruker.

Os demais testes referentes a análise da área superficial específica (BET) foram realizados pela Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP). Para análise da área superficial específica do rejeito utilizou-se a adsorção de nitrogênio em baixas temperaturas, por meio da desgaseificação da amostra de rejeito, medição da adsorção do gás nitrogênio na amostra, análise da isoterma de adsorção e cálculo da área superficial.

3.3. PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS

A preparação das amostras foi realizada no Laboratório de Tratamento de Minérios do CEFET-MG Unidade Araxá. O material amostrado passou inicialmente pela fase de pesagem e foi verificada uma massa inicial de 11,980 kg (Figura 3).

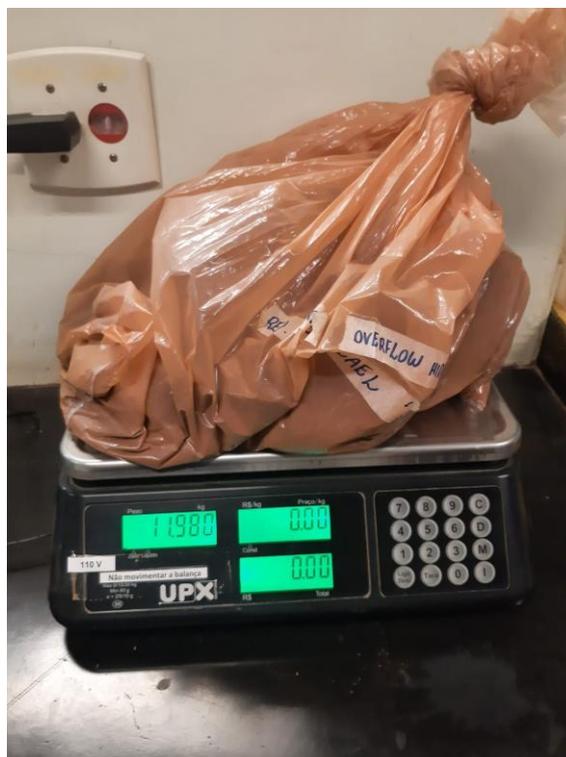


Figura 3 - Pesagem da massa inicial de rejeito.

Fonte: Da autora, 2024.

Após a pesagem, a amostra foi submetida a etapa de desaglomeração, utilizando-se de um rolo para desaglomerar as partículas finas e peneiramento com uma peneira de 28# (0,59 mm). As partículas passantes eram separadas das retidas, que eram submetidas novamente a desaglomeração com o rolo, até que passassem na peneira (Figura 4).



Figura 4 - Peneiramento na peneira de 28# e desaglomeração das partículas com o rolo.

Fonte: da autora, 2024.

Posteriormente, realizou-se a homogeneização e quarteamento, com o auxílio de uma lona e um recipiente. O material foi distribuído ao longo de uma pilha alongada de 2,5 metros (250 cm) com o auxílio de um recipiente (Figura 5).



Figura 5 - Pilha alongada de 2,5 metros (250 cm).

Fonte: da autora, 2024.

Logo após, foram retiradas alíquotas de 25 cm em cada uma das laterais da pilha, o material foi redistribuído ao longo da pilha, formando uma pilha alongada final de 2 metros (200 cm) conforme Figura 6.



Figura 6 - Pilha alongada final com 2 metros (200 cm).

Fonte: da autora, 2024.

Posteriormente, para obtenção das amostras com aproximadamente 100g, retirou-se alíquotas de aproximadamente 1,67 cm iniciando-se do centro da pilha até as laterais (Figura 7).



Figura 7 - Retirada das alíquotas de 100 g iniciando-se do centro da pilha alongada.

Fonte: da autora, 2024.

Em suma, cada alíquota de rejeito foi pesada e colocada em saquinhos. Posteriormente, o solo utilizado como insumo na confecção das tintas, já estava desaglomerado e passou pelas etapas de homogeneização e quarteamento para obtenção das alíquotas necessárias para confecção das tintas. A massa inicial do solo era de 2666g (2,666kg). Inicialmente realizou-se a homogeneização e quarteamento do solo, com o auxílio de uma lona e um recipiente. O material foi distribuído ao longo de uma pilha alongada de 50 cm com o auxílio de um recipiente (Figura 8).



Figura 8 - Pilha alongada de 50 cm.

Fonte: Da autora, 2024.

Logo após, foram retiradas alíquotas de 5 cm em cada uma das laterais da pilha, o material foi redistribuído ao longo da pilha, formando uma pilha alongada final de 40 cm.

Posteriormente, para obtenção das amostras com aproximadamente 900g e 700g, retirou-se alíquotas iniciando-se do centro da pilha até as laterais. Por fim, as amostras foram pesadas e colocadas em saquinhos.

Ressalta-se que o solo em questão não foi caracterizado.

3.4. ANÁLISE DE DENSIDADE REAL

Para determinação da densidade realizou-se a análise via picnometria a gás utilizando-se o equipamento analisador de densidade real ACP AD200. Foi adicionado 90,0871 g de rejeito ao compartimento do equipamento (Figura 9) e foram feitas 5 leituras, anotando-se os valores mostrados pelo equipamento.

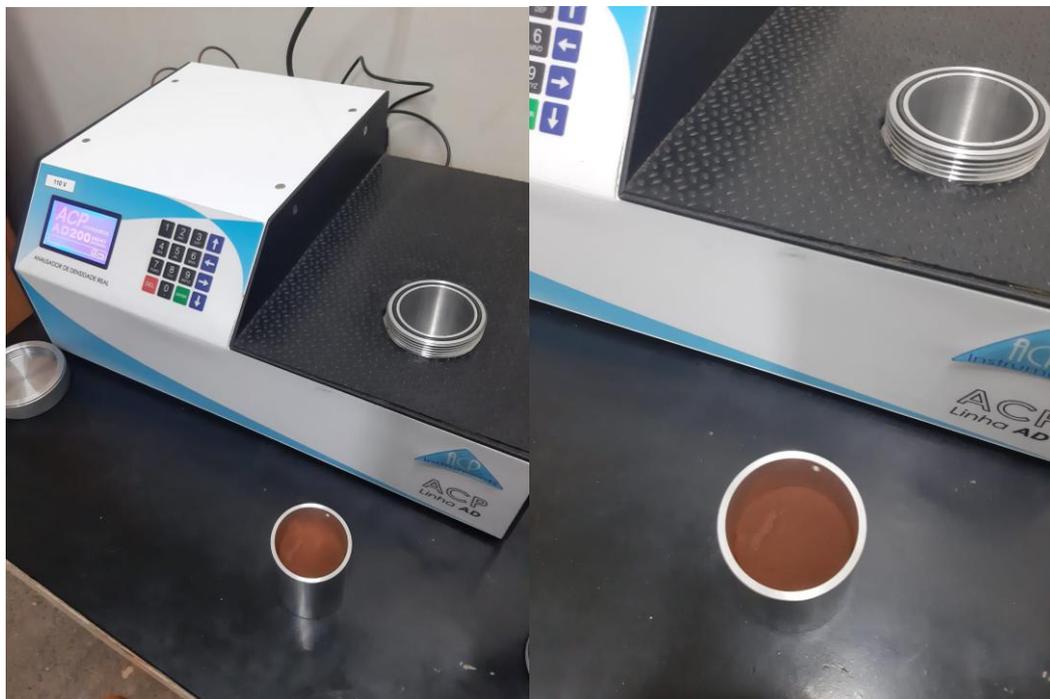


Figura 9 - Equipamento utilizado para medição da picnometria.

Fonte: da autora, 2024.

3.5. DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA

Foram realizados 2 peneiramentos. O primeiro peneiramento foi realizado em 7 peneiras, sendo elas de 400# (0,037 mm), 325# (0,044 mm), 270# (0,053 mm), 200# (0,074 mm), 150# (0,105 mm), 100# (0,149 mm), 65# (0,209 mm). As peneiras foram colocadas no peneirador suspenso conforme Figura 10.



Figura 10 - Peneiras no peneirador suspenso.

Fonte: da autora, 2024.

Foram adicionados 201,65 gramas de rejeito a primeira peneira de 65#, posteriormente o peneirador foi ligado e o material foi peneirado à úmido com o auxílio de uma mangueira. Após o peneiramento, verificou-se que havia uma grande quantidade de material nos baldes passante na peneira de 400# (0,037 mm), por isso, foi realizado um peneiramento à úmido na peneira de 500# (0,025 mm) com o material que passou na peneira de 400# (0,037 mm).

Por fim, os materiais retidos em cada peneira foram colocados em pratos identificados para secagem (Figura 11).



Figura 11 - Amostras retidas nas peneiras separadas em pratos e identificadas.

Fonte: da autora, 2024.

Após a secagem, as amostras retidas foram pesadas e os valores foram anotados. Após a pesagem das amostras secas, verificou-se que a massa retida na peneira de 65# (0,209 mm) era superior a 5%, por isso, foi necessário realizar o segundo peneiramento à úmido. Dessa forma, repetiu-se o procedimento realizado no primeiro peneiramento utilizando-se as peneiras de 270# (0,053 mm), 200# (0,074 mm), 150# (0,105 mm), 100# (0,149 mm), 65# (0,209 mm) 48# (0,295 mm) e 35# (0,418 mm). Posteriormente os cálculos foram refeitos e fez-se o gráfico da curva granulométrica.

3.6. FABRICAÇÃO DA TINTA ECOLÓGICA E APLICAÇÃO

Inicialmente foi realizada uma proporção para calcular as quantidades de solo, rejeito, água e cola branca PVA não tóxica utilizados, conforme quantidades utilizadas no Projeto Cores da Terra (Ferrão, 2007). As quantidades foram anotadas na Tabela 3.

Tabela 3 - Proporções das quantidades de cada insumo para produção da tinta ecológica.

Tintas Ecológicas	Quantidades							
	Modelos de Confeção	% de Rejeito	Rejeito (kg)	Solo (kg)	Massa Total (kg)	Água (L)	Cola Branca PVA não tóxica (L)	Volume de Tinta (L)
Tinta Ecológica - Cores da Terra (Ferrão, 2007)		0%	0	10	10	10	3	18
Tinta Ecológica com rejeito		10%	0,1	0,9	1	1	0,3	1,8
		30%	0,3	0,7	1	1	0,3	1,8
		100%	1	0	1	1	0,3	1,8

Fonte: Da autora, 2024.

Em um recipiente, foi adicionado a massa de rejeito e solo para cada porcentagem de rejeito utilizada na tinta (Figura 12), posteriormente foi adicionado 1

litro de água ao balde (Figura 13) e o material foi misturado com o auxílio de uma espátula.



Figura 12 - Rejeito adicionado ao recipiente.

Fonte: Da autora, 2024.



Figura 13 - Água adicionada ao recipiente com o rejeito.

Fonte: Da autora, 2024.

Posteriormente, foi adicionado 300 ml (0,3 L) de cola branca PVA não tóxica, e misturou-se novamente os insumos no balde, com o auxílio de um agitador mecânico com agitação de 1296 rpm (Figura 14).



Figura 14 - Cola branca PVA não tóxica adicionada ao recipiente em agitação com rejeito e água.

Fonte: Da autora, 2024.

Após a tinta apresentar uma consistência homogênea (Figura 15), transferiu-se o conteúdo do balde para um recipiente para armazenamento até a aplicação (Figura 16).



Figura 15 - Mistura de rejeito, cola e água em agitação até se tornar uma mistura homogênea.

Fonte: Da autora, 2024.



Figura 16 - Tintas armazenadas em recipientes.

Fonte: Da autora, 2024.

Para aplicação da tinta, a superfície foi preparada de forma que ficasse limpa e sem irregularidades. Foram delimitados três quadrados de 0,15m x 0,15m (0,0225m²) para aplicação de cada tinta (Figura 17), vale ressaltar que esse procedimento foi realizado em duas paredes diferentes, uma em área externa descoberta e outra em área externa coberta.

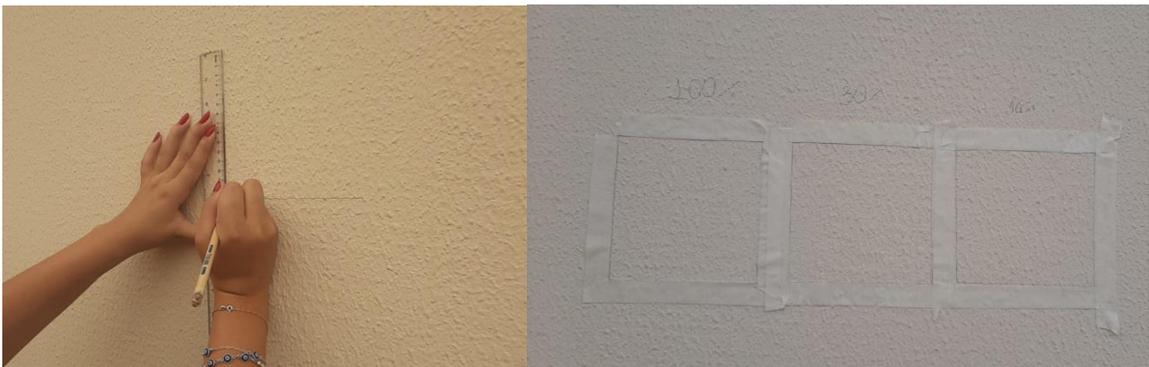


Figura 17 - Delimitação da área para aplicação das tintas.

Fonte: Da autora, 2024.

Posteriormente foi aplicada a primeira demão de tinta com o auxílio de um rolo (Figura 18).



Figura 18 - Aplicação da primeira demão de tinta.

Fonte: Da autora, 2024.

Após 10 minutos da aplicação da primeira demão de tinta, foi aplicada a segunda demão, visando cobrir totalmente a parede (Figura 19).



Figura 19 - Aplicação da segunda demão de tinta.

Fonte: Da autora, 2024.

A fim de testar a aplicabilidade da tinta em diferentes superfícies, também foram aplicadas 2 demãos de tinta em um enfeite para parede de madeira (Figura 20).



Figura 20 - Aplicação da tinta em enfeite de madeira.

Fonte: Da autora, 2024.

3.7. AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA TINTA

A avaliação da qualidade da tinta foi realizada de forma qualitativa, observou-se aspectos como cor, homogeneidade, cobertura, presença de rachaduras, descascados e durabilidade da tinta em superfícies diferentes e em áreas externas cobertas e descobertas, durante um período de 77 dias, registrando as mudanças por meio de fotos.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. ANÁLISE DE DENSIDADE REAL

Após as medições das densidades lidas 5 vezes através do equipamento de picnometria a gás, os valores foram anotados na Tabela 4 e a densidade foi calculada a partir de uma média dos valores.

Tabela 4 - Valores lidos durante o teste de picnometria a gás.

Picnometria a gás	
Medições	Densidade (t/m ³)
1	3,509
2	3,503
3	3,550
4	3,538
5	3,559
Média	3,532

Fonte: da autora, 2024.

Dessa forma, verificou-se que a densidade absoluta média do rejeito era de 3,532 t/m³ com desvio padrão igual a 0,0248 e coeficiente de variação de 0,7%.

4.2. CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA DO REJEITO

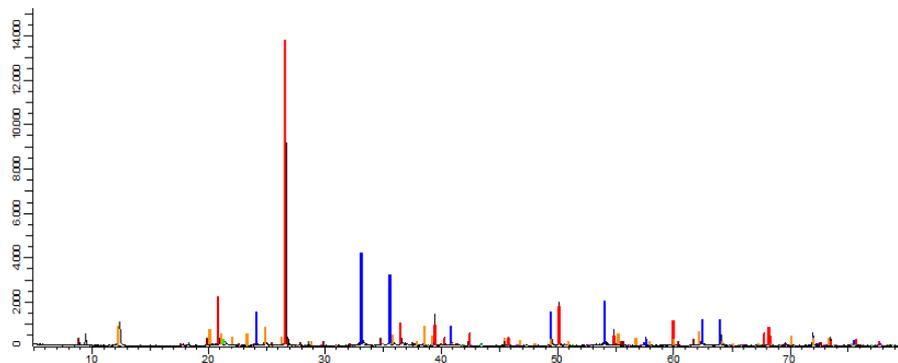
A macroimagem do rejeito é apresentada na Figura 21.



Figura 21 - Macroimagem do rejeito.

Fonte: Empresa parceira, 2024.

A Difratometria de Raios X (DRX) identificou as fases demonstradas nas Figura 22 e 23.



Cor	Mineral	Fórmula	Forma
	Muscovita	$H_2KAl_3Si_3O_{12}$	Monoclínico
	Caulinita	$H_4Al_2Si_2O_9$	Triclínico
	Cristobalita (Beta Silica)	SiO_2	Tetragonal
	Magnetita	Fe_3O_4	Cúbico
	Quartzo	SiO_2	Hexagonal
	Hematita	Fe_2O_3	Hexagonal

Figura 22 - Identificação de fases DRX.

Fonte: Empresa parceira, 2024.

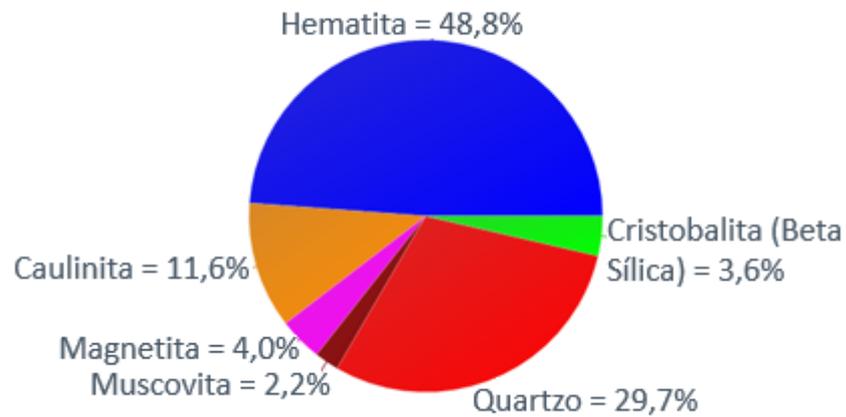


Figura 23 - Identificação das fases.

Fonte: Empresa parceira, 2024.

A difratometria de raios X permitiu a identificação dos minerais hematita, quartzo, caulinita, magnetita, cristobalita (beta sílica) e muscovita. A estimativa dos percentuais de cada mineral foi obtida por refinamento Rietveld, conforme apresentado pela Figura 23.

O MEV apresentou os seguintes resultados demonstrados nas Figuras 24, 25, 26, 27 e 28. A Figura 24, apresenta a imagem panorâmica da amostra com um zoom de até 3000x, que registra a distribuição dos minerais na amostra de rejeito.

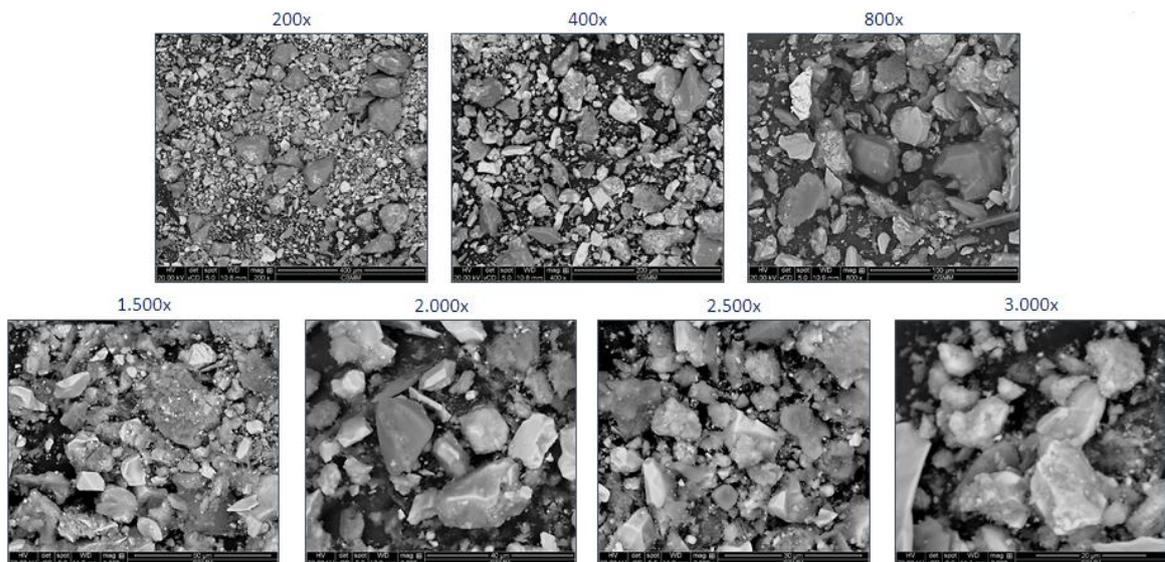


Figura 24 - Micrografias (BSE).

Fonte: Empresa parceira, 2024.

A Figura 25, apresenta os resultados obtidos através de 3 diferentes áreas da amostra, que proporcionaram resultados mais representativos das características mineralógicas do rejeito.

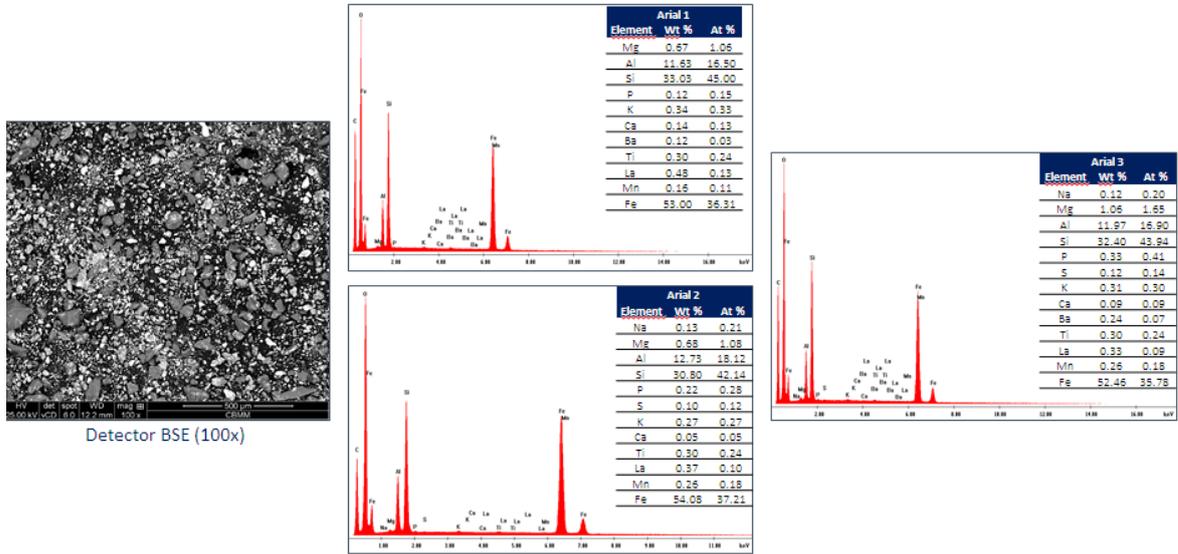


Figura 25 - EDS – Arial.

Fonte: Empresa Parceira, 2024.

As Figuras 26 a 28 apresentam os resultados das análises em cada ponto da amostra.

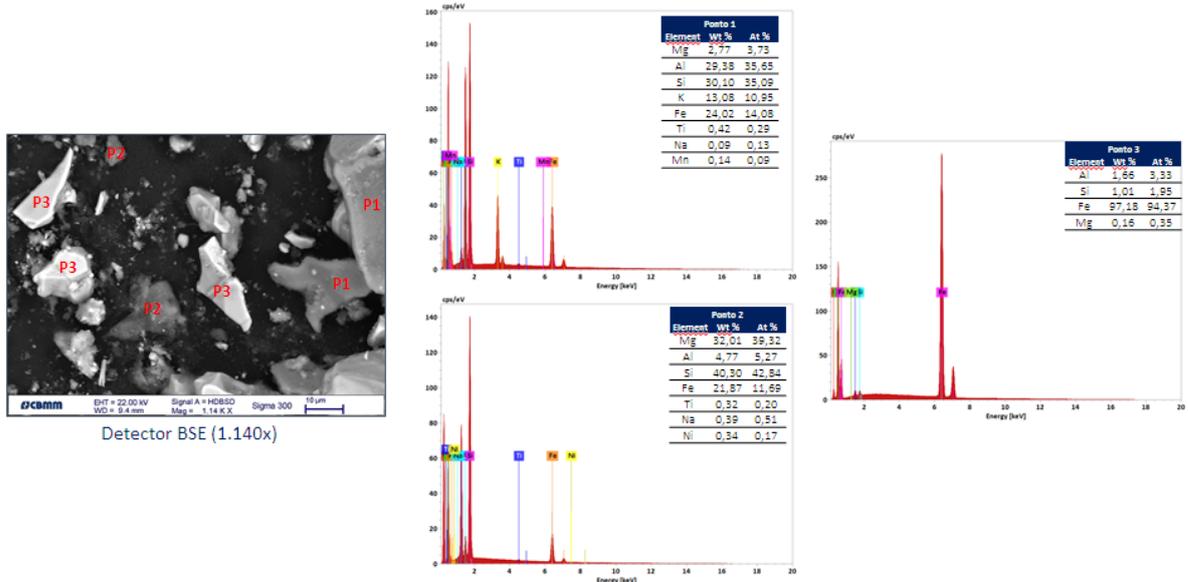


Figura 26 - Análises Pontuais (MEV).

Fonte: Empresa Parceira, 2024.

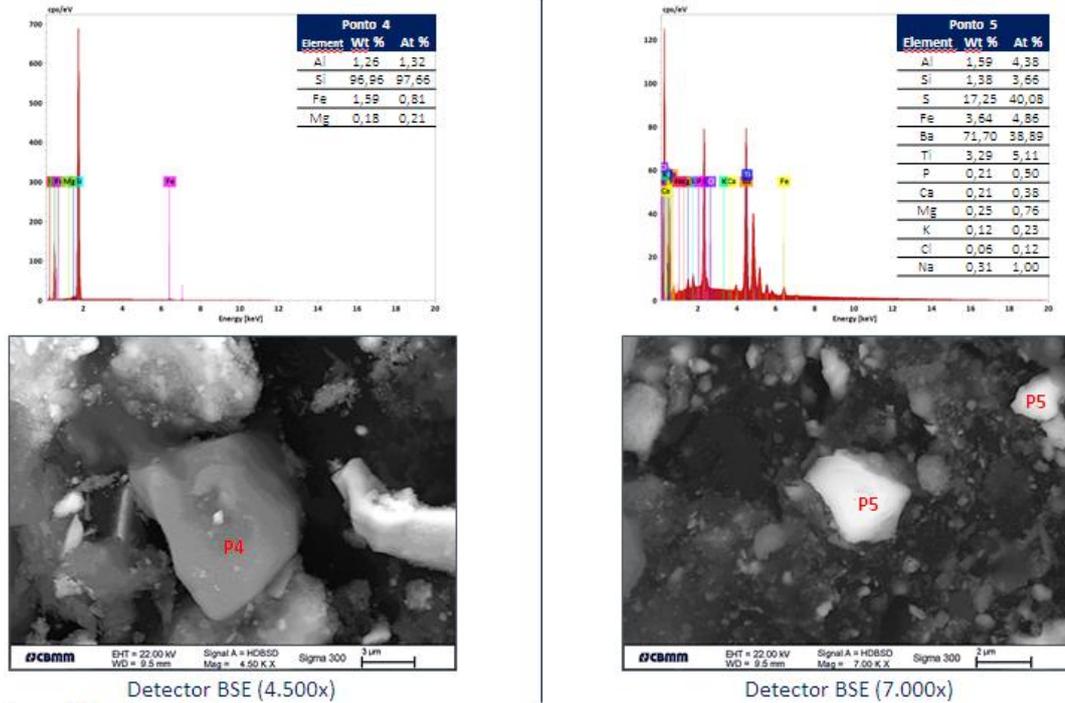


Figura 27 - Análises pontuais (MEV).

Fonte: Empresa parceira, 2024.

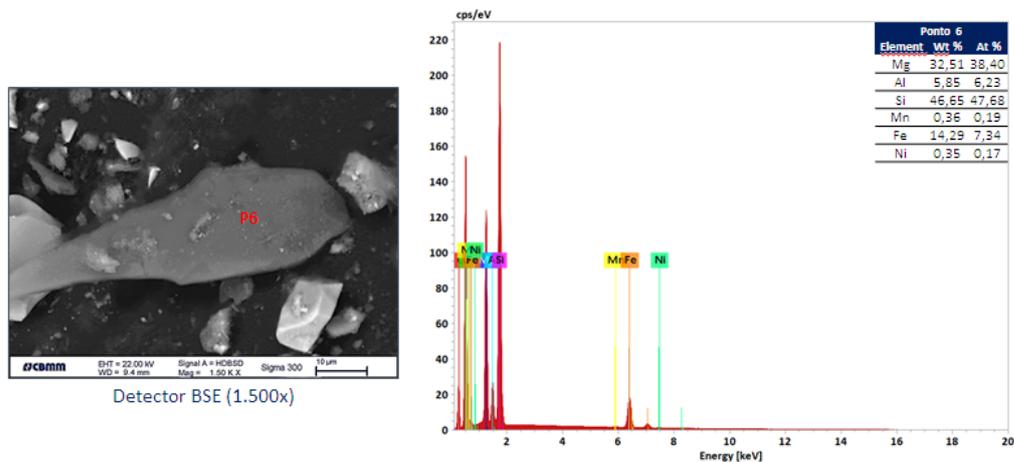


Figura 28 - Análises pontuais (MEV).

Fonte: Empresa parceira, 2024.

As figuras 26 a 28 apresentam as análises pontuais realizadas através do MEV, no ponto 1 foi identificado a presença de Mg, Al, Si, K, Fe, Ti, Na e Mn. No ponto 2, foi identificada a presença de Mg, Al, Si, Fe, Ti, Na e Ni. No ponto 3, foi identificado a presença de Al, Si, Fe e Mg. No ponto 4, foi verificado a presença de Al, Si, Fe e Mg. No ponto 5, foi verificado a presença de Mg, Al, Si, Mn, Fe e Ni e no ponto 6, foi

verificado a presença de Mg, Al, Si, Mn, Fe e Ni. Dessa forma, foi observado que há a predominância de Fe, Si e Al na maioria dos pontos.

A Figura 29 apresenta o mapeamento mineralógico da amostra, no qual as partículas identificadas na cor roxa demonstram a presença de Fe. Em verde e azul, registram a presença de Si e Al, respectivamente. Além disso, é identificada a presença de Mg, K, Mn, P, Ti, Ba, O e C na amostra de rejeito, conforme cores da legenda da Figura 29.

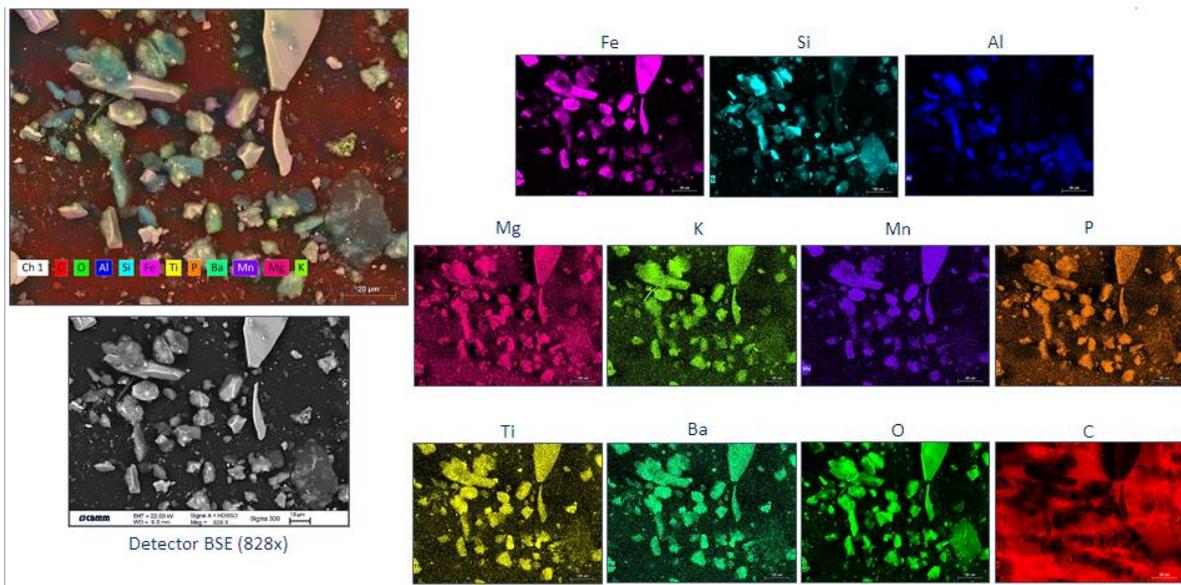


Figura 29 - Análises Mapeamento (MEV).

Fonte: Empresa parceira, 2024.

Através da análise mineralógica, verificou-se que o rejeito é composto predominantemente por minerais ferrosos, o que explica a coloração vermelha/laranja característica do traço da hematita.

4.3. ANÁLISE DA ÁREA SUPERFICIAL ESPECÍFICA

O resultado de determinação de área superficial específica apontou para uma área média de 15,96 m²/g. Conforme descrito no estudo de Santos et al, 2006, a área superficial específica de pigmentos à base de ferro pode variar de 124,9 m²/g a 2,4 m²/g. A área superficial específica média de 15,96 m²/g respeita a faixa encontrada em pigmentos estabelecida no trabalho de Santos et al, 2006 e demonstra que a

amostra de rejeito possui uma área superficial específica elevada comparada ao menor valor de $2,4\text{m}^2/\text{g}$ obtido no estudo do autor, o que demonstra que as partículas do material são finas, pois quanto mais fino, maior a área superficial específica. A elevada área superficial do material, é favorável para aplicação em pigmentos, devido ao baixo tamanho de partículas que proporciona uma uniformidade ao misturar o material com solventes e uma melhor cobertura de superfície via preenchimento de poros e fissuras menores.

4.4. ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

Após a pesagem dos materiais retidos em cada peneira, verificou-se os seguintes valores descritos na Tabela 5.

Tabela 5 - Distribuição Granulométrica.

Peneira (#)	Abertura (mm)	Massa Retida (g)	% Retida Simples	% Retida Acumulada	% Passante
35	0,418	3,3	1,64%	1,64%	98,36%
48	0,295	6,1	3,03%	4,66%	95,34%
65	0,209	3,66	1,82%	6,48%	93,52%
100	0,148	10,4	5,16%	11,63%	88,37%
150	0,105	8,05	3,99%	15,63%	84,37%
200	0,074	13,89	6,89%	22,51%	77,49%
270	0,052	15,43	7,65%	30,17%	69,83%
325	0,044	15,49	7,68%	37,85%	62,15%
400	0,037	10,52	5,22%	43,06%	56,94%
500	0,025	13,66	6,77%	49,84%	50,16%
-500	-	101,13	50,15%	99,99%	0,01%
Total		201,65			

Fonte: Da autora, 2024.

Dessa forma, fez-se o gráfico de distribuição granulométrica (Figura 30).

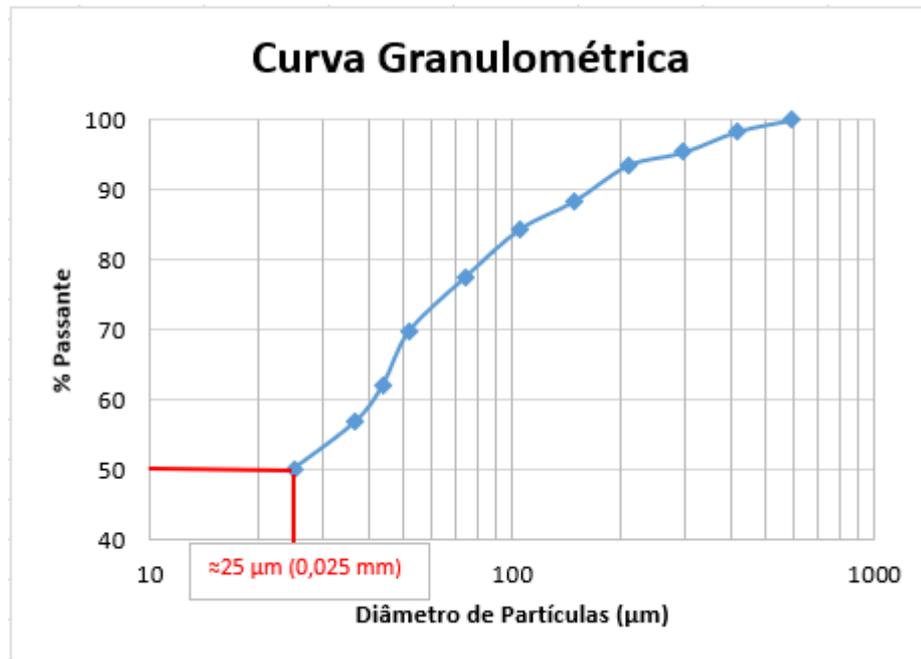


Figura 30 - Curva Granulométrica.

Fonte: da autora, 2024.

A curva granulométrica (Figura 30) mostra que o d50 do rejeito é 0,025 mm, ou seja, cerca de 50% do material é passante na peneira de 500# (0,025 mm), o que caracteriza que o material possui uma granulometria muito fina, ideal para ser utilizado como pigmento.

Conforme análise mineralógica, o rejeito é composto predominantemente por minerais ferrosos, o que explica a coloração vermelha/laranja característica do material. Sendo assim, espera-se que o quartzo presente na amostra moa mais que os minerais ferrosos durante os processos do beneficiamento de minério de ferro, tendendo a apresentar uma granulometria mais fina. Dessa forma, os minerais ferrosos tendem a apresentar uma granulometria mais grossa a olho nu, destacando-se a cor avermelhada das partículas.

4.5. AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA TINTA

4.5.1. TINTA APLICADA NA PAREDE

As tintas com diferentes porcentagens de rejeito foram aplicadas no dia 15 de novembro de 2024 em duas paredes, uma em área externa coberta e outra em área

externa descoberta e na Figura 31 foram compiladas as fotos registradas durante 77 dias para avaliação qualitativa das tintas.



Figura 31 – Tintas aplicadas na parede.

Fonte: Da Autora, 2024.

No dia da aplicação (15/11/2025), observou-se que as consistências das tintas produzidas com 30% e 10% de rejeito ficaram aparentemente menos viscosas que a tinta produzida com 100% de rejeito, mesmo utilizando as mesmas quantidades de água e cola PVA não tóxica. Esse aspecto referente a viscosidade da tinta pode ser visto a partir dos respingos de tinta escorridos na parede em cada área delimitada apresentadas na Figura 31. Além disso, observou-se que a tinta produzida com 100% de rejeito cobriu melhor a superfície, de forma mais homogênea. Esse resultado, pode estar relacionado pela alta presença de finos na tinta produzida com 100% de rejeito, já que as tintas com 30% e 10% de rejeito foram produzidas com solo, que não foi caracterizado, mas que provavelmente apresentava uma faixa granulométrica maior do que a do rejeito, fazendo com que a cobertura de vazios fosse menor, devido ao tamanho maior de partículas.

Após 15 dias da aplicação das tintas na parede (dia 01/12/2024), com registros de chuva durante esse período, observou-se que as tintas na área externa coberta não apresentaram alterações visíveis. Entretanto, na área externa descoberta, verificou-se que as tintas produzidas com 30% e 10% de rejeito desbotaram, devido a ação das chuvas e a tinta com 100% de rejeito permaneceu sem alterações.

Além disso, observou-se que a tinta com apenas 10% de rejeito desbotou uma área maior e apresentou uma coloração mais clara do que as outras tintas com porcentagem maior de rejeito. Não foram identificadas rachaduras e fissuras em nenhuma das superfícies com nenhuma das tintas.

Após 23 dias da aplicação da tinta (dia 08/12/2024), com ocorrência de chuvas nesse período, observou-se que as tintas na área coberta não apresentaram alterações quanto a cobertura. As tintas com 30% e 10% em área externa descoberta permaneceram desbotadas e a tinta com 100% de rejeito permaneceu sem alterações quanto a cobertura. Além disso, não foram observadas rachaduras, descascados e fissuras em nenhuma das superfícies com nenhuma das tintas.

No restante dos dias observados (do dia 09/12/2024 a 01/02/2025) os aspectos quanto a cobertura, cor e ausência de rachaduras, descascados e fissuras se mantiveram constantes.

Dessa forma, pode-se atribuir a fixação da cor da tinta produzida com 100% de rejeito a granulometria fina e a elevada área superficial específica do rejeito de minério de ferro identificadas na caracterização mineralógica, distribuição granulométrica e análise de área superficial específica realizados. A granulometria fina do material é ideal para ser aplicada como pigmento, devido a cobertura de poros e uniformidade. Tintas produzidas com pigmentos com menor granulometria (como no caso da tinta com 100% de rejeito) tendem a apresentar maior fixação devido à maior área superficial específica, que favorece uma melhor interação com a cola presente na composição da tinta ecológica produzida. Essa maior área de contato permite uma dispersão mais homogênea das partículas na matriz da tinta, resultando em melhor aderência a superfície após a aplicação. Além disso, partículas mais finas penetram mais facilmente nas irregularidades da superfície pintada, promovendo ancoragem mecânica superior. Em contrapartida, pigmentos com maior granulometria, como no caso das tintas produzidas com 10% e 30% de rejeito e solo, podem sedimentar mais rapidamente e formar uma cobertura menos uniforme, prejudicando a fixação e durabilidade da cor.

4.5.2. TINTA APLICADA NA MADEIRA

A tinta foi aplicada no enfeite de madeira no dia 15 de novembro de 2024, assim como na parede e os registros da tinta durante 77 dias foram compilados na Figura 32.

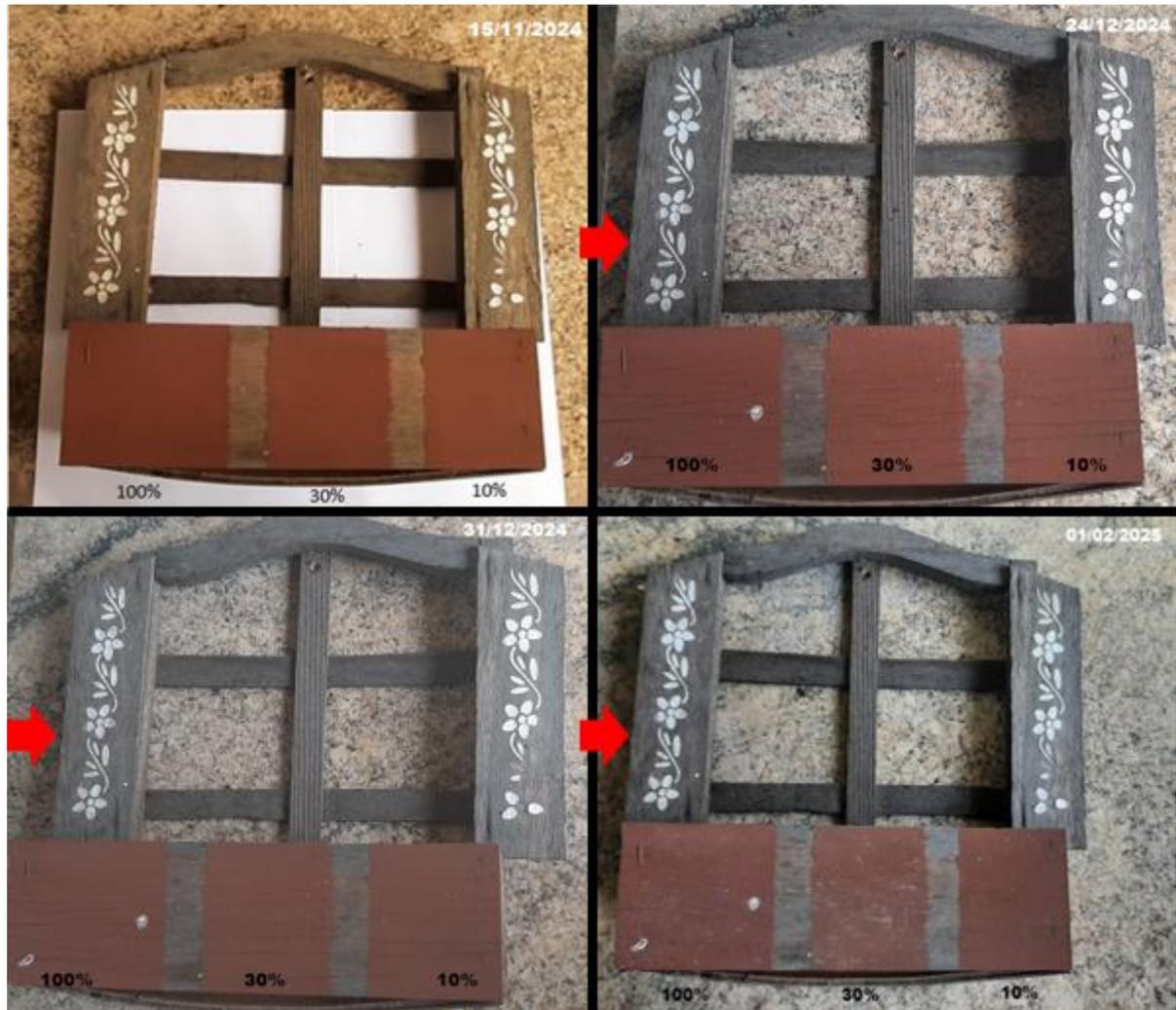


Figura 32 - Tintas aplicadas em madeira.

Fonte: Da autora, 2024.

Observou-se que todas as tintas com diferentes porcentagens de rejeito, apresentaram boa aderência à madeira. Todas cobriram bem a superfície e não apresentaram descamações e fissuras em primeiro momento.

Após 39 dias da aplicação da tinta (dia 29/12/2024), o enfeite de madeira permaneceu em área descoberta, sofrendo ações intempéricas. Dessa forma, verificou-se que mesmo nessas condições, as tintas não apresentaram alterações quanto a cor, cobertura e ausência de descamações, fissuras etc.

Após 46 dias da aplicação da tinta (dia 31/12/2024), verificou-se que houve acúmulo de poeira em algumas partes da madeira, entretanto, não houve nenhuma alteração das tintas em relação a cor, cobertura e ausência de fissuras, descamação etc.

Após 75 dias da aplicação da tinta na madeira (dia 01/02/2025), verificou-se que mesmo com o acúmulo de poeira na superfície, não houve alterações quanto a cor, cobertura e ausência de fissuras e descascados.

4.6. ANÁLISE ECONÔMICA PARA PRODUÇÃO DAS TINTAS

A partir dos cálculos realizados na Tabela 6, verificou-se que o valor médio gasto para produção da Tinta Ecológica com 100% de rejeito como pigmento é de R\$16,34 para produzir cerca de 1,8L de tinta, ou seja, são gastos aproximadamente R\$9,08 (US\$1,63) por litro de tinta produzida.

Tabela 6 - Valores gastos para a produção da Tinta Ecológica.

VALORES UTILIZADOS PARA PRODUÇÃO DA TINTA ECOLÓGICA			
MATERIAIS	PREÇO DO ITEM (Média de preços em abril de 2025 – Valores sujeitos a alterações)	QUANTIDADE UTILIZADA	PREÇO POR QUANTIDADE UTILIZADA
Cola PVA não tóxica	R\$ 23,00 para 500 mL	0,3L	R\$13,53
Água	R\$ 2,81 para 1L	1L	R\$2,81
Rejeito	R\$ 0,00	1Kg	R\$0
Quantidade total de tinta		1,8L	Total R\$16,34 (US\$2,93)

Fonte: Da autora, 2025.

Através de uma proporção dos valores, verificou-se que são gastos R\$163,40 (US\$29,28) para produzir 18L de tinta, conforme quantidade das latas padrões de tintas vendidas no Brasil atualmente apresentados na Tabela 7.

Tabela 7 - Comparação de valores entre as tintas mais vendidas do mercado.

TINTAS	QUANTIDADE DE TINTA	PREÇO (Média de preços em abril de 2025 – Valores sujeitos a alterações)
Tinta Ecológica	1,8L	R\$ 16,34
	18L	R\$ 163,40
Tinta Suvinil Acrílico Standard	18L	R\$ 329,00
Tinta Coral Acrílica	18L	R\$ 304,00
Tinta Esmalte para madeiras e metais - Suvinil	18L	R\$ 570,31

Fonte: Da autora, 2025.

A Tabela 7 apresenta a comparação entre os preços de produção da tinta ecológica utilizando 100% de rejeito, as tintas das linhas econômicas para área externa das marcas mais conhecidas do mercado brasileiro, Suvinil e Coral e tinta esmalte utilizada para pinturas de madeira (Figura 33).

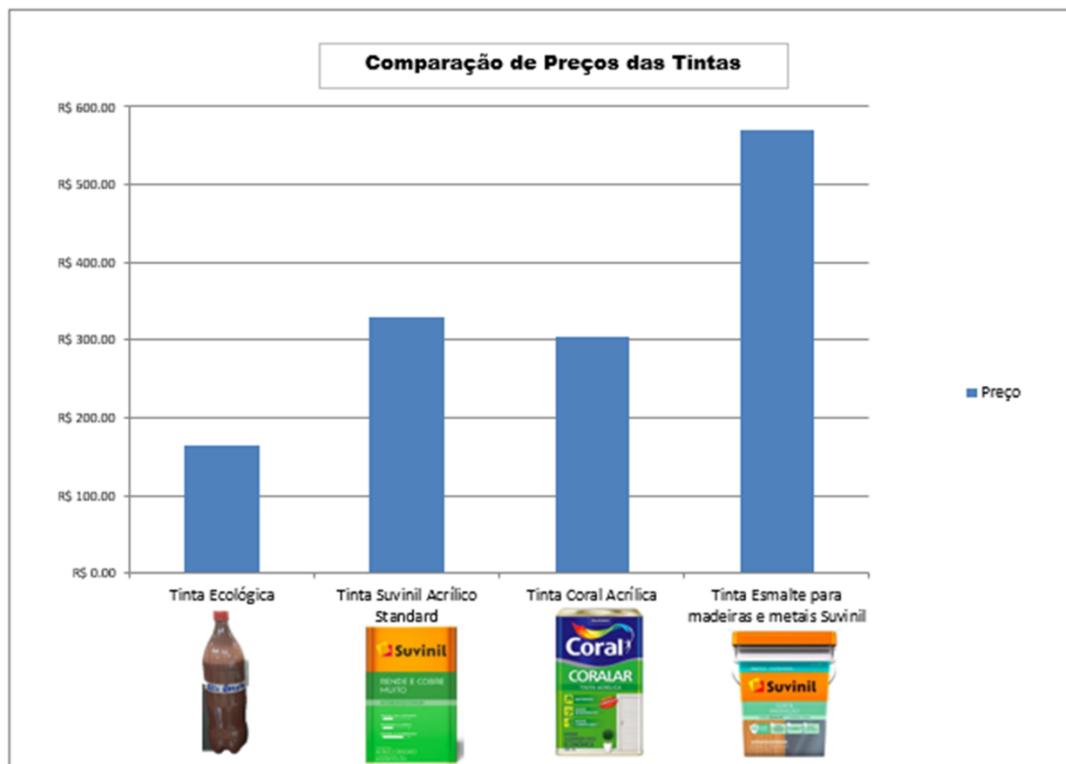


Figura 33 - Comparação de preços das tintas.

Fonte: da autora, 2025.

Observa-se que a tinta ecológica é cerca de 49% mais barata que as tintas da Suvinil e Coral e cerca de 72% mais barata que a tinta da Suvinil utilizada para pintura de madeiras. Vale ressaltar que o preço de produção da tinta ecológica apresentada

na Figura 33, considera a estimativa de produção da tinta em bancada, não considerando todo o processo produtivo, logístico e comercial. Estima-se que a diferença de preços entre as tintas ecológicas e convencionais tenderia a ser reduzida em condições reais de produção, aproximando o valor final da tinta ecológica com o das tintas convencionais. Entretanto, verificou-se que a tinta ecológica possui aplicabilidade parecida com a das tintas mais vendidas no mercado e se mostra promissora por ser uma solução sustentável e menos agressiva ao meio ambiente.

5. CONCLUSÕES

Para produção das tintas ecológicas foi utilizado um rejeito da concentração magnética de minério de ferro. O rejeito em questão, é o overflow da etapa de desaguamento e apresenta cerca de 52% de minerais ferrosos em sua composição mineralógica. Dessa forma, a predominância de minerais ferrosos na composição do rejeito, justifica a coloração vermelha/laranja característica do material.

Quanto a granulometria, observou-se que cerca de 50% do tamanho de partículas presentes no rejeito é menor que 0,025 mm, apresentando uma granulometria muito fina, o que inviabiliza o reprocessamento desse material apesar de ele apresentar alto teor de minerais ferrosos. A análise de área superficial específica apresentou valores baixos, o que representa a uniformidade do material, que é ideal para ser utilizado como pigmento.

Com relação as tintas ecológicas, observou-se que as tintas produzidas com 100% de rejeito como pigmento apresentaram melhor homogeneidade para cobertura da parede e melhor fixação ao serem submetidas a condições intempéricas em área externa descoberta. As tintas produzidas com 30% e 10% de rejeito, apresentaram menor fixação e homogeneidade de cobertura da parede. Nenhuma das tintas apresentou rachaduras, fissuras e descascados.

Além disso, verificou-se uma ótima aplicabilidade e fixação das tintas aplicadas em madeira. Não houve alterações significativas com relação as porcentagens de rejeito utilizadas em cada tinta, sendo assim, todas as tintas apresentaram alta fixação em madeira, mesmo em área externa descoberta.

O estudo econômico para fabricação da tinta ecológica, apresentou valores 49% mais baixos do que o preço das tintas para parede mais vendidas no mercado e valores 72% mais baixos do que o preço das tintas para madeira, o que comprova um baixo custo de produção e alta viabilidade de vendas como subproduto da indústria mineral/metalúrgica, utilização para doações em projetos sociais e/ou parceria entre o poder público e indústrias para investir na produção de materiais de construção seguros a partir de resíduos das mineradoras, para uso e aplicação em obras públicas de infraestrutura e moradias populares, podendo beneficiar as indústrias com isenção fiscal, entre outras ações que possam gerar ganhos às empresas de mineração e para o meio ambiente.

Portanto, conclui-se que a fabricação de tintas ecológicas utilizando rejeito de minério de ferro é um tema promissor e pertinente para novos estudos, como mudanças de cor da tinta, alterações na composição e estudos mais aprofundados de viabilidade econômica e de mercado.

REFERÊNCIAS

- AFINKO. O que é o Ensaio de Área Superficial (BET)?. In: **AFINKO Polímeros**, 21 de outubro de 2021. Disponível em: [O que é o Ensaio de Área Superficial \(BET\)? - Afinko \(afinkopolimeros.com.br\)](http://afinkopolimeros.com.br). Acesso em: 09/08/2024.
- ANM – AGÊNCIA NACIONAL DE MINERAÇÃO. Cadastro nacional de barragens de mineração: DNPM. In: **Agência nacional de mineração: ANM**, 04 de fevereiro de 2015. Disponível em: <http://www.anm.gov.br/assuntos/barragens/pasta-cadastro-nacional-de-barragens-de-mineracao/cadastro-nacional-de-barragens-de-mineracao>. Acesso em: 27/07/2024.
- ANM – AGÊNCIA NACIONAL DE MINERAÇÃO. Classificação de barragens de mineração. In: **Agência nacional de mineração: ANM**, 15 de dezembro de 2016. Disponível em: <http://www.anm.gov.br/assuntos/barragens/pasta-classificacao-de-barragens-de-mineracao/plano-de-seguranca-de-barragens>. Acesso em: 16/03/2024.
- ANDRADE, Luana Caetano Rocha de. **Caracterização de Rejeitos de Mineração de Ferro, in Natura e Segregados, para aplicação como material de construção civil**. 2014. Tese (Pós-Graduação) – Universidade Federal de Viçosa, 2014.
- ANDRADE, Luana Caetano Rocha de.; MARQUES, Eduardo Antônio Gomes; PEIXOTO, Ricardo André Fioretti. Perspectivas para o reaproveitamento de rejeitos da mineração de ferro como materiais de construção. 2016. **Geografias – Artigos Científicos**. Vol. 12, nº 1. Belo Horizonte, 2016.
- AZEVEDO, Gislaine Handrielly de; VITAL, Adriana de Fátima Meira. Aproveitamento do rejeito das indústrias de beneficiamento do caulim para a produção de tinta ecológica à base de terra. **Tecnologia em Metalurgia, Materiais e Mineração**, São Paulo, p. 242-247, jul/set. 2018.
- BATES, Jeremy. **Barragens de Rejeitos**. São Paulo: Signus, 2002.
- BORGES, A.A. Caracterização da parcela magnética de minério fosfático de carbonatito. **REM – Revista Escola de Minas**, Ouro Preto, p-29-34, 2008.
- CARDOSO, F.; ALVARENGA, R; CARVALHO, A; FONTES, M. **Processos de produção e avaliação de requisitos de desempenho de tintas para a construção civil com pigmentos de solos**. 2015. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2015.

CARMIGNANO, O. R. **Rejeitos de Minério de Ferro: Caracterização e Aplicações**. Scielo, 2021.

CARMO, S.S. et al. Estudos de caracterização tecnológica em amostras de minério de ferro de baixo teor. **HOLOS**, [S. l.], ano 30, v.3, fev. 2014, p. 35-43.

CHAVES, Leonardo Flamarion Marques. **Estudo da adição do resíduo proveniente da extração de minério de ferro em argilas do Rio Grande do Norte**. 2009. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2009.

CORREA, Amélia de Souza. **Estudo dos parâmetros para concentração magnética do minério de ferro proveniente da Mina de Posse-MG**. 2018. CEFET-MG Centro Federal de Educação Tecnológica. Araxá.

COSTA, Evair Nunes da. **Peneiramento de partículas finas e ultrafinas com adição de dispersantes**. Orientador: Dr. André Carlos Silva. 2014. Monografia (Especialização em Tratamento de Minérios) – Universidade Federal de Goiás – Regional Catalão, Catalão, 2014.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL. **NRM 18: Beneficiamento**. Pernambuco, 2001.

FARIA, F.; SCHMID, A. **Tintas naturais para construção civil**. In: Encontro nacional, 8.; Encontro Latino-Americano de Conforto no ambiente Construído (ELACAC), 9.; 2015, Curitiba. Anais... Capinas: ENCAC/ELACAC, 2015.

FERRÃO, L. M. V. **Cores da terra**. Vitória: Incaper, 2007. Disponível em: [Cores-da-Terra-final.pdf \(incaper.es.gov.br\)](https://incaper.es.gov.br/Cores-da-Terra-final.pdf). Acesso em: 10/08/2024.

FERNANDES, G. et al. Estudo de resíduos de minério de ferro para utilização em pavimentos. 2004, Costão do Santinho – Florianópolis, Santa Catarina, 2004.

FERREIRA, Diego Henrique Oliveira. **Principais Etapas do Tratamento de Minérios Itabiríticos do Quadrilátero Ferrífero**, 2011. Monografia (Pós-Graduação). Belo Horizonte: programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Minerais.

FIOCRUZ – Fundação Oswaldo Cruz. Conhecendo o território: cenário de risco das barragens de mineração em Minas Gerais. In: Fundação Oswaldo Cruz: FIOCRUZ,

09 de fevereiro de 2022. Disponível em: [cartilha3 Territorio IMPRESSAO.pdf \(fiocruz.br\)](#) . Acesso em: 27/07/2024.

FISHER, George. Minério de Ferro, geologia econômica e redes de experts entre Wisconsin e Minas Gérias, 1881-1914. 2013. Freie Universidade de Berlin, 2013.

GOMES, Ana Cláudia Franca. **Estudo de Aproveitamento de Rejeito de Mineração**, 2017. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica, Materiais e de Minas, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG.

GUIMARÃES, N.C. **Filtragem de rejeitos de minério de ferro visando a sua disposição em pilhas**. 2011. Dissertação de Mestrado, Curso de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Minas, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, 129 p.

IBRAM – INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO. Rejeitos de mineração podem se tornar minas produtivas. In: **Instituto Brasileiro de Mineração: IBRAM**, 12 de setembro de 2016. Disponível em: [Rejeitos de mineração podem se tornar minas produtivas - IBRAM](#). Acesso em: 27/07/2024.

LUZ, Adão Benvindo da; LINS, Fernando Antonio Freitas. Introdução ao Tratamento de Minérios. In: LUZ, Adão Benvindo da; SAMPAIO, João Alves; FRANÇA, Silva Cristina A. **Tratamento de minérios**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2010.

MACHADO, Mayare de Souza Moura Maciel. **Blocos para construção civil feitos com rejeitos depositados na Barragem de Candonga**. 2018. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) – Universidade Federal Ouro Preto, Ouro Preto, 2018.

MANTILLA, Edgar Rodo. **Avaliação da liberação mineral por análise de imagens digitais obtidas em microscópio óptico de luz refletida**. 2013. P. 115. Dissertação (Mestrado em Engenharia Metalúrgica, materiais e de minas) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013.

MATOS, Hannah Larissa Siqueira. **Síntese de Nanopartículas de Óxido de Ferro funcionalizadas para remoção de Pb²⁺**. 2016. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia Química) – Universidade Federal de Goiás, Goiás, 2016.

MILANEZ, Bruno. **Mineração, Ambiente e Sociedade: Impactos Complexos e Simplificação da Legislação**. 2017. Boletim Regional, Urbano ambiental, 2017.

MORAES, Thalita. **Utilização do Rejeito de Minério de Ferro para Produção de Misturas Asfálticas Coloridas**, 2022. Universidade Federal de Campinha Grande. Campina Grande – Paraíba, 2022.

NEUMANN, Reiner; SCHNEIDER, Claudio Luiz; NETO, Arnaldo Alcover. Caracterização Mineralógica de Minérios – parte 2. In: LUZ, Adão Bendindo da; SAMPAIO, João Alves; FRANÇA, Silva Cristina A. **Tratamento de Minérios**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2010.

PAULIV, T. M.; MADI, A.P. **Uso do solo como alternativa sustentável na fabricação de tintas**. PAIC 2019-2020.

PORPHÍRIO, Ney H; Barbosa, Marilia Inês M.; BERTOLINO, Luiz Carlos. Caracterização mineralógica de minérios – parte 1. In: LUZ, Adão Benvindo da; SAMPAIO, João Alves; FRANÇA, Silva Cristina A. **Tratamento de Minérios**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2010.

RIBEIRO, Luís Fernando Martins. **Simulação Física do Processo de formação dos aterros hidráulicos aplicado a barragens de rejeitos**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade de Brasília – Faculdade de Tecnologia, Brasília, 2000.

RUBIO, Jorge; OLIVERIA, Cristiane; SILVA, Renato. Aspectos ambientais nos setores minério e metalúrgico. In: LUZ, Adão Benvindo da; SAMPAIO, João Alves; FRANÇA, Sílvia Cristiana A. **Tratamento de Minérios**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2010.

SANTIAGO, Arthur. **O contexto do Minério de Ferro no Brasil. Estudo de caso: Produção da Mina Ponto Verde – Itabirito/Brasil**. Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2017.

SANTOS, R.; ALVES, L.; TEIXEIRA, de C.; SILVA, N.; PATRICIO, S. de O. ESTUDO DE VIABILIDADE DO USO DE REJEITOS DE MINÉRIO DE FERRO COMO PIGMENTO EM RESINAS DE POLIPROPILENO: FEASIBILITY STUDY OF THE USE OF IRON ORE TAILINGS AS PIGMENT IN POLYPROPYLENE RESINS. **MIX Sustentável**, [S. l.], v. 10, n. 3, p. 83–91, 2024. DOI: 10.29183/2447-3073.MIX2024.v10.n3.83-91. Disponível em:

<https://ojs.sites.ufsc.br/index.php/mixsustentavel/article/view/7142>. Acesso em: 12 out. 2024.

SANTOS, L.P.S., et al. **Síntese de pigmentos pretos à base de Fe, Co e Cr pela rota de precursores poliméricos**. UFSCar – Universidade Federal de São Carlos, 2006.

SEVERO, Cecília Borges. **Aproveitamento de Rejeito de Minério de Ferro para Fabricação de Tijolos Cerâmicos**. CEFET- MG Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, 2019.

SILVA, Mayara; SILVA, Erika; LIMA, Sandovânio. **Tinta Ecológica**. Cadernos de Graduação – Engenharia Civil, p. 125-130, 2018.

SOARES, Lindolfo. Barragem de Rejeitos. In: LUZ, Adão Benvindo da; SAMPAIO, João Alves; FRANÇA, Sílvia Cristina A. **Tratamento de Minérios**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2010.

WOLFF, A.P. **Caracterização de rejeitos de minério de ferro de minas da VALE**. Ouro Preto: Universidade Federal de Ouro Preto, Dissertação (Mestrado), p.107, 2009.